

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Návrh a posudek ocelové konstrukce zakladače kameniva

Design and assessment of aggregate stacker with steel load-bearing structure

Student:

Bc. Vojtěch Klimeš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D

Ostrava 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vojtěch Klimeš**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: **Návrh a posudek ocelové konstrukce zakladače kameniva**
Design and assessment of aggregate stacker with steel load-bearing structure

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce:

1. Navrhněte a posuďte nosnou ocelovou konstrukci ocelového zakladače kameniva vytěženého při ražbě tunelu v Brennerském průsmyku.
2. Při návrhu ocelové konstrukce vycházejte ze základních požadavků investora na geometrické uspořádání konstrukce. Potřebné podklady, včetně definice technologických a klimatických zatížení, budou poskytnuty společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o.
3. Ocelovou konstrukci navrhněte a posuďte v souladu s platnými evropskými normami.
4. K navrženému konstrukčnímu řešení vypracujte potřebnou projektovou dokumentaci (přehledné výkresy ocelové konstrukce, technickou zprávu a výkaz materiálu).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990 ed.2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ÚNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [2] ČSN EN 1991-1-X Zatížení konstrukcí (příslušné části). Praha, ÚNMZ.
- [3] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, ÚNMZ, 2011.
- [4] ČSN EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn, Praha, ČNI, 2008.
- [5] ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: ČNI, 2007.
- [6] ČSN EN 1998-1-1 ed. 2. Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. ÚNMZ, 2013
- [7] Podklady poskytnuté společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o. (požadavky na geometrické uspořádání konstrukce, definice technologických a klimatických zatížení).
- [8] Marek, P. a kol. Kovové konstrukce pozemních staveb, Praha, SNTL, 1985.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2019

Datum odevzdání: 29.11.2019

doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Markvartovicích dne 29.listopadu 2019

.....

Bc. Vojtěch Klimeš

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBT-UO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Markvartovicích dne 29.listopadu 2019

.....

Bc. Vojtěch Klimeš

Anotace

KLIMEŠ, V.: *Návrh a posudek ocelové konstrukce zakladače kameniva*. Diplomová práce, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 2019, Vedoucí práce: doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.

Cílem diplomové práce je zpracovat návrh a posudek nosné ocelové konstrukce zakladače kameniva vytěženého při ražbě tunelu v Brennerském průsmyku. Při návrhu jsou respektovány základní požadavky investora na geometrické uspořádání konstrukce. Jsou dodržovány požadavky zadavatele, týkající se zatížení technologických či klimatických. Pro modelování chování a posouzení konstrukce jsou využity dostupné softwary, zejména Scia Engineer a Idea StatiCa. Jednotlivé posudky dle normy jsou také porovnány s výstupy z obou jmenovaných programů. Součástí diplomové práce je také technická zpráva, výkresová dokumentace a výkaz materiálu.

Klíčová slova

zakladač kameniva, ocelová konstrukce, statický posudek

Annotation

KLIMEŠ, V.: *Design and assessment of aggregate stacker with steel load-bearing structure*. Diploma thesis, VŠB – VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Structures, 2019, Thesis head: doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.

The aim of this diploma thesis is to elaborate the design and the assessment of the steel load-bearing structure of aggregate stacker obtained during tunnel excavation in Brenner Pass. The design respects basic requirements of the investor for the geometrical disposition of the structure. The proposal respects the requirements of the contracting authority regarding the technological or climatic load. Software, especially Scia Engineer and Idea Statica, are easy to use to model behavior and design. Specific evaluations according to the standards are accepted with outputs from both of the above-mentioned programs. Part of the thesis is a technical report, drawing documentation and a bill of materials.

Keywords

aggregate stacker, steel load-bearing structure, statical analysis

Obsah

Seznam použitého značení.....	9
1 Úvod.....	11
1.1 Popis konstrukce	11
1.2 Třída provedení	13
2 Statický výpočet konstrukce.....	15
2.1 Materiál	15
2.2 Výpočetní model	18
2.3 Výpočetní data	18
2.4 Zatížení.....	20
2.4.1 Zatížení stálé.....	22
2.4.1.1 Od vlastní tíhy nosných prvků.....	22
2.4.1.2 Ostatní stálé zatížení.....	22
2.4.2 Zatížení proměnné.....	26
2.4.2.1 Dopravovaný materiál	26
2.4.2.2 Užité zatížení – osoby	26
2.4.2.3 Napětí od řemene.....	27
2.4.2.4 Zatížení sněhem.....	28
2.4.2.5 Zatížení větrem.....	29
2.4.2.6 Seizmické zatížení	36
2.5 Kombinace zatížení	37
2.6 Posouzení nosných prvků mostu zakladače – MSÚ	39
2.6.1 HEA 120.....	39
2.6.2 HEA 140.....	42
2.6.3 HEB 180.....	47
2.6.4 HEB 280.....	52

2.6.5	IPE 120	57
2.6.6	L80x8.....	61
2.6.7	L100x10.....	64
2.6.8	L120x12.....	67
2.7	Posouzení nosných prvků mostu zakladače – MSP	69
2.8	Využití průřezů mezních stavů.....	73
2.9	Posouzení vybraných detailů mostu zakladače	74
2.9.1	Montážní spoj spodního podélníku HEB 280	74
2.9.2	Montážní spoj horního pásu podélníku HEB 180	77
2.9.3	Připojení plošiny k mostu zakladače	80
2.9.4	Klasický styčnický mostu zakladače.....	84
2.9.5	Čepový spoj.....	86
2.10	Posouzení nosných prvků podpůrné věže zakladače.....	88
2.10.1	HEB 180	88
2.10.2	HEB 300	90
2.10.3	HEB 500 – horní rošt.....	95
2.10.4	HEB 500 -spodní rošt.....	101
2.10.5	IPE 140	106
2.10.6	UNP 200	108
2.11	Posouzení nosných prvků mostu zakladače – MSP	110
2.12	Využití průřezů mezních stavů.....	113
2.13	Posouzení vybraných detailů věže zakladače.....	114
2.13.1	Montážní spoj roštu HEB 500	114
2.13.2	Kotvení sloupu HEB 300	117
2.13.2.1	Patní deska.....	118
2.13.2.2	Kotvení šroubů	119
2.13.2.3	Smyková zarážka.....	120

2.14	Mezní stav použitelnosti celé konstrukce	123
3	Závěr	124
4	Seznam použitých pramenů.....	126
4.1	Literatura	126
4.2	Normy	126
4.3	Internetové zdroje.....	127
5	Použitý programový software	128
6	Seznam obrázků a tabulek.....	129
6.1	Seznam obrázků	129
6.2	Seznam tabulek	131
7	Seznam příloh	133

Seznam použitého značení

A_{net}	Průměr oslabeného průřezu	[m ²]
A	Plocha průřezu	[m ²]
A_s	Plocha jádra šroubu	[m ²]
b	Šířka ramene	[m]
C_m	Součinitele ekvivalentního momentu	[-]
C_m	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
C_{ti}	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
d	Průměr šroubu	[m]
d_0	Průměr otvoru	[m]
E	Modul pružnosti	[MPa]
f_u	Mez pevnosti	[MPa]
f_{ub}	Mez pevnosti pro šroub	[MPa]
f_y	Mez kluzu	[MPa]
f_{yb}	Mez kluzu pro šrouby	[MPa]
G	Modul pružnosti ve smyku	[MPa]
G_m	Součinitel konstrukce	[-]
h	Referenční výšky uvažované složky nad zemí	[m]
H	Referenční nadmořská výška v metrech	[m]
I	Moment setrvačnosti	[m ⁴]
I_t	Moment tuhosti v prostém kroucení	[m ⁴]
i_y	Poloměr setrvačnosti k ose y	[m]
$I_v(h)$	Intenzita turbulence	[-]
I_w	Výsečový modul setrvačnosti	[m ⁶]
i_z	Poloměr setrvačnosti k ose z	[m]
k_r	Součinitel terénu	[-]
k_{yy}	Interakční součinitel	[-]
k_{yz}	Interakční součinitel	[-]

k_{zy}	Interakční součinitel	[-]
k_{zz}	Interakční součinitel	[-]
L	Délka rozpětí	[m]
$L_{cr,y}$	Vzpěrná délka k rovině y-y	[m]
$L_{cr,z}$	Vzpěrná délka k rovině z-z	[m]
n	Počet šroubů v průřezu	[-]
q	Spojitě zatížení	[kN/m]
$q_h(h)$	Střední tlak větru	[N/m ²]
$q_p(h)$	Maximální tlak větru	[N/m ²]
$\tau_{ }$	Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru	
τ_{\perp}	Smykové napětí kolmé na osu svaru	
$V_{b,0}$	Základní rychlost větru	[m/s]
$V_{h(h)}$	Střední rychlost větru	[m/s]
W_{el}	Pružný modul průřezu	[m ³]
α	Součinitel imperfekce	[-]
α_{LT}	Součinitel imperfekce klopení	[-]
α_V	Součinitel pro únosnost ve stříhu	[-]
β_{Lf}	Redukce únosnosti ve stříhu	[-]
γ_G	Dílčí součinitel stálého zatížení	[-]
γ_Q	Dílčí součinitel proměnného zatížení	[-]
Δl	Změna délek	[-]
ε	Poměrné přetvoření	[-]
$\bar{\lambda}_{eff}$	Efektivní poměrná štíhlost	[-]
$\bar{\lambda}_{LT}$	Poměrná štíhlost při klopení	[-]
λ_y	Štíhlost	[-]
$\bar{\lambda}_y$	Poměrná štíhlost	[-]
$\rho\sigma$	Hustota vzduchu	[kg/m ³]
σ	Normálové napětí	[MPa]
σ_{\perp}	Normálové napětí kolmé na osu svaru	[MPa]
χ	Součinitel plnosti	[-]
χ_{LT}	Součinitel klopení	[-]
χ_y	Součinitel vzpěrnosti	[-]

Další označení je ve shodě s platnými normami, na které je v textu odkazováno.

1 Úvod

S výjimkou strusky a dalších vyráběných kameniv pochází většina materiálů pro agregovanou výrobu z podloží nebo nekonsolidovaných ložisek. Kameniva jsou získávána z povrchově těžných kamenolomů nebo z pískových či stěrkových jam. Tato diplomová práce se zabývá návrhem a posudkem ocelové konstrukce zakladače kameniva. Zakladače jsou určeny pro zakládání nadložních zemin na výsypkách, zejména u povrchových dolů. Navazují na ostatní zařízení kontinuálního nebo cyklicko-kontinuálního těžebního procesu. Z provozního hlediska tak zakladače představují poslední článek technologického celku a ovlivňují jeho celkovou výkonnost a produktivitu.

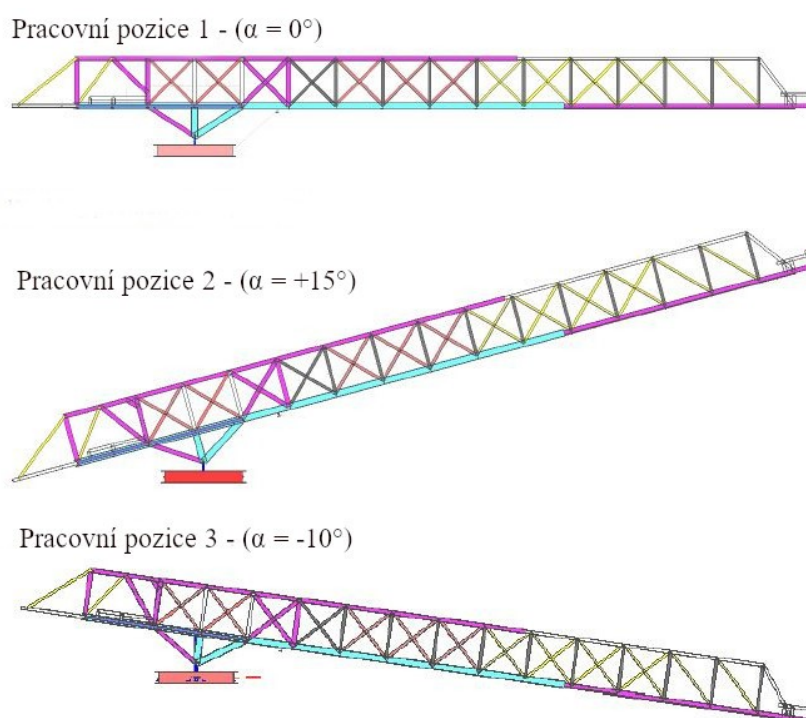
Kamenivo se přesouvá po dopravním pásu, jenž je hlavní složkou dopravníku. Pás tvoří nekonečnou smyčku, je podpírán a veden válečky v nosné i vratné větvi. V oblasti nakládání materiálu se používají dopadové válečky z důvodu intenzivního dynamického namáhání, snižují tím namáhání dopadové části. Válečky se vkládají do válečkových stolic. K uvedení pásu do pohybu se děje pomocí poháněcího bubnu umístěného na stranu, kde materiál přepadává. Součástí příslušenství je také čistič pásu, ten je uložen na začátku dolní větve. Jeho úkolem je odstranění zbytků přepravovaného materiálu, které zůstaly na pásu vlivem vlhkosti nebo lepidlosti. Zbytky materiálu by se mohly přenášet na válečky dolních stolic, čímž by se zvyšovaly dopravní odpory. Při vysokých objemových dopravních výkonech by se materiál také mohl hromadit pod dopravníkem.

Posuzovaný objekt se nachází v Rakousku ve městě Steinach am Brenner v jižním Tyrolsku. Vytěžené kamenivo je získáno při ražbě tunelu v Brennerském průsmyku. Konstrukce musí během své životnosti odolávat zatížením, která se vyskytují v dané lokalitě jejího umístění. Jedná se o klimatická či seismická zatížení. Pro výpočet těchto zatížení jsou použity příslušné rakouské normy.

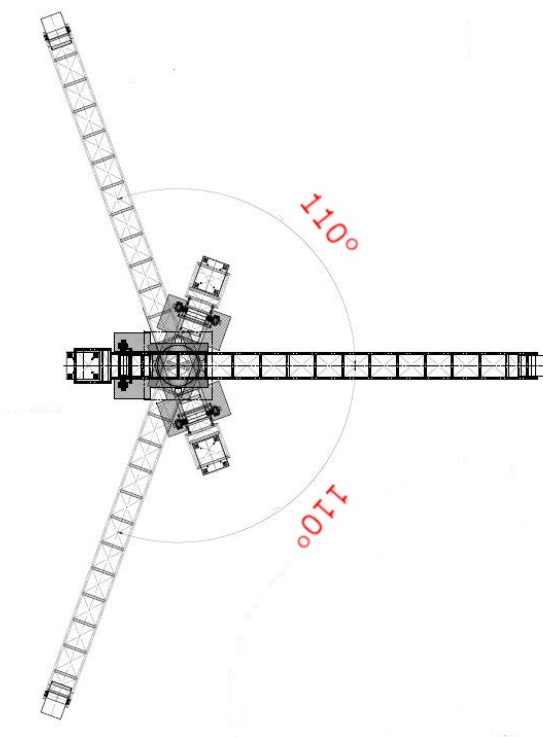
1.1 Popis konstrukce

Celá konstrukce zakladače se rozděluje na dvě části. Horizontální část nazvanou jako most zakladače a vertikální nazvanou jako věž. Most zakladače je vytvořen jako prostorová příhradová konstrukce, která staticky působí jako páka. Celková délka mostu je 34 m

s obvyklou šířkou pole 2 m. Délka převislého ramene je dlouhá 24 m. Nosná konstrukce mostu zakladače je tvořena stojinami a podélnými nosníky. Vznikají tak jednotlivé příčné vazby, které jsou vyrobeny z ocelových normalizovaných profilů HEA nebo HEB. Zavětrování a ztužení nosníků je provedeno ocelovými úhelníky. Celá nosná konstrukce je navržena z oceli jakostní třídy S235JR a S355J2. Šroubové spoje v celé konstrukci budou prováděny z metrických nepředeptnutých šroubů pevnostní třídy 10.9. Účelem nosné konstrukce mostu je zachycení statických sil vznikajících od tíhy dopravovaného materiálu a přenesení zatížení od všech součástí a příslušenství zakladače. Most je spojen čepem ke kotevním roštu, který je umístěn na vrchní části podpůrné příhradové věže. Most zakladače se může vertikálně naklánět. Děje se tak pomocí hydraulického válce, který umožňuje naklánět pracovní rovinu od $+15^\circ$ do -10° . Most se také dokáže točit horizontálně o 110° od své základní polohy. Ve statickém posouzení se berou v úvahu všechny pracovní polohy. Účinky zatížení uvedené v této práci jsou brány jako maximum ze všech uvažovaných pracovních poloh mostu.



Obr. 1: Pracovní pozice mostu [3]



Obr. 2: Horizontální poloha zakladače kameniva [3]

1.2 Třída provedení

Výroba ocelových konstrukcí představuje technologický proces, při kterém je nutno dodržet řadu požadavků na základní a přídatný materiál, na jeho zpracování, mezní úchytky detailů, dílců či celé konstrukce. Provádění ocelových konstrukcí se rozděluje do čtyř tříd provedení (execution classes) EXC1 až EXC4, přičemž nároky od jedničky do čtyřky postupně vzrůstají. Třídy se určují pro celou konstrukci nebo její části. Konstrukce se zařazuje do tříd podle následujících postupů.

Tab. 1: Třídy následků [12]

Consequences Classes	Description	Examples of buildings and civil engineering works
CC3	High consequence for loss of human life, or economic, social or environmental consequences very great	Grandstand, public buildings where consequences of failure are high (e.g. a concert hall)
CC2	Medium consequence for loss of human life, or economic, social or environmental consequences considerable	Residential and office buildings, public buildings where consequences of failure are medium (e.g. an office building)
CC1	Low consequence for loss of human life, or economic, social or environmental consequences small or negligible	Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g. storage buildings), greenhouses

S ohledem na střední následky ztrát lidských životů a značné ekonomické následky byla stavba zařazena do kategorie CC2 třídy následků. Stavba obsahuje svařované komponenty vyrobené z výrobků z oceli třídy S355, tudíž spadá do kategorie PC2.

Tab. 2: Výrobní kategorie [13]

Categories	Criteria
PC1	<ul style="list-style-type: none"> Non welded components
PC2	<ul style="list-style-type: none"> Welded components

Konstrukce a komponenty a jejich spoje jsou navrženy pro kvazistatické zatížení v oblasti s nízkou seizmickou aktivitou spadá stavba do kategorie použitelnosti SC1. V celkovém součtu těchto podmínek se stavba zařazuje do třídy provedení EXC2 podle tab.4.

Tab. 3: Kategorie použitelnosti [13]

Categories	Criteria
SC1	<ul style="list-style-type: none"> Structures subject to quasi static actions ^a
SC2	<ul style="list-style-type: none"> Structures subject to repeated actions of such intensity that the inspection regime specified for components subject to fatigue is required ^b
^a Guidance is given in EN 1999-1-3 whether a component or structure may be regarded as subject to quasi static actions and classified in category SC1.	
^b Service category SC2 should be used for cases not covered by SC1.	

Tab. 4: Třídy provedení [13]

Consequences Classes		CC 1		CC 2		CC 3	
Service Categories		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Production Categories	PC 1	EXC 1	EXC 1	EXC 2	EXC 3	EXC 3 ^a	EXC 3 ^a
	PC 2	EXC 1	EXC 2	EXC 2	EXC 3	EXC 3 ^a	EXC 4
^a EXC 4 Should be applied to special structures or structures with extreme consequences of a structural failure also in the indicated categories as required by national provision							

2 Statický výpočet konstrukce

Statický výpočet je strukturován na dvě části. V první části je návrh a posudek mostu zakladače a jeho detailů, ve druhé části se výpočet věnuje posouzení podpůrné věže a kotvení konstrukce.

2.1 Materiál

Prvky konstrukce jsou z nelegované konstrukční oceli S235JR a S355J2. Při označení J v názvu oceli, má ocel vykazovat minimální nárazovou práci 27 Joulů, měřeno na vzorku s vrubem V. Číslice nebo písmeno za touto značkou udává teplotu při zkoušce. R značí zkoušku provedenou při pokojové teplotě 20 °C, číslice 2 značí teplotu -20°C. Výběr oceli byl zvolen na základě prostředí, v němž bude objekt umístěn a na typu přenášeného zatížení. Hlavní nosná konstrukce je navržena z konstrukční oceli S355J2. Běžná uhlíková ocel kvality S235JR je použita na doplňkové konstrukce. Všechny šrouby jsou z pevnostní třídy 10.9.

Ocel S235JR

Tab. 5: Charakteristiky materiálu ocel S235

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M0}	1,0	[-]
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,0	[-]
charakteristická mez kluzu	f_y	235	[MPa]
charakteristická mez pevnosti	f_u	360	[MPa]
modul pružnosti	E	210	[GPa]

Ocel S355J2

Tab. 6: Charakteristiky materiálu ocel S355

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M0}	1,0	[-]
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,0	[-]
charakteristická mez kluzu	f_y	355	[MPa]
charakteristická mez pevnosti	f_u	510	[MPa]
modul pružnosti	E	210	[GPa]

Ocel 10.9

Tab. 7: Charakteristiky materiálu ocel 10.9

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M2}	1,25	[-]
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M3}	1,25	[-]
charakteristická mez kluzu	f_{yb}	900	[MPa]
charakteristická mez pevnosti	f_{ub}	1000	[MPa]

Ocelové desky normální kvality jsou obvykle dodávány se zárukou mechanických vlastností buď ve směru válcování desky nebo v šířce desky (ve směru x a y). Vlastnosti ve směru průchozí tloušťky (ve směru z) nejsou specifikovány. Pomocí zvláštního výrobního procesu, který zahrnuje snížení obsahu síry v oceli, je však možné dodávat desky (tzv. Z-vlastnosti) se specifikovanými vlastnostmi ve směru průchozí tloušťky. Z-vlastnosti minimalizují riziko roztržení lamel. Protože se v konstrukci vyskytují místa, kde je svařování kombinováno s napětími ve směru průchozí tloušťky desky, jsou pro tyto prvky stanoveny stupně Z dle EN 10164.

Stanovení stupně Z:

Tloušťka materiálu $s \leq 20$ mm

$Z_a = 0$ (efektivní hloubka svaru $a_{eff} \leq 7$ mm)

$Z_b = 5$ (částečné a úplné průnikové svařky)

$Z_c = 4$ (tloušťka materiálu $10 \text{ mm} < s \leq 20 \text{ mm}$)

$Z_d = 0$ (volné smrštění omezeno, např. T – klouby)

$Z_e = 0$ (bez předehřevu)

Návrhová hodnota Z_{Ed} : $Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e = 0 + 5 + 4 + 0 + 0 = 9 \leq 10$

Požadovaná třída Z: bez požadavku

Tloušťka materiálu $20 \text{ mm} < s \leq 30 \text{ mm}$

$Z_a = 3$ (efektivní hloubka svaru $a_{eff} \leq 10 \text{ mm}$)

$Z_b = 5$ (částečné a úplné průnikové svary)

$Z_c = 6$ (tloušťka materiálu $20 \text{ mm} < s \leq 30 \text{ mm}$)

$Z_d = 0$ (volné smrštění omezeno, např. T – klouby)

$Z_e = 0$ (bez předehřevu)

Návrhová hodnota Z_{Ed} : $Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e = 3 + 5 + 6 + 0 + 0 = 14$

Požadovaná třída Z: $Z_{Rd} = 15$

Tloušťka materiálu $30 \text{ mm} < s \leq 50 \text{ mm}$

$Z_a = 6$ (efektivní hloubka svaru $10 \text{ mm} < a_{eff} \leq 20 \text{ mm}$)

$Z_b = 5$ (částečné a úplné průnikové svary)

$Z_c = 10$ (tloušťka materiálu $35 \text{ mm} < s \leq 50 \text{ mm}$)

$Z_d = 0$ (volné smrštění omezeno, např. T – klouby)

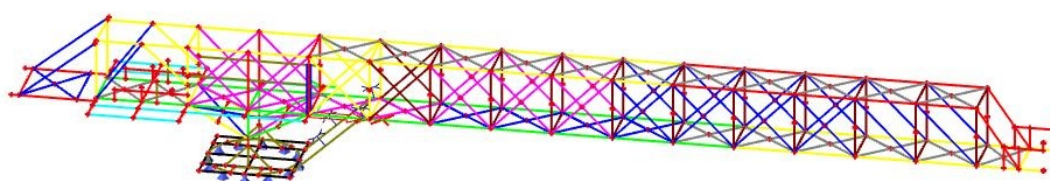
$Z_e = 0$ (bez předehřevu)

Návrhová hodnota Z_{Ed} : $Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e = 6 + 5 + 10 + 0 + 0 = 21$

Požadovaná třída Z: $Z_{Rd} = 25$

2.2 Výpočetní model

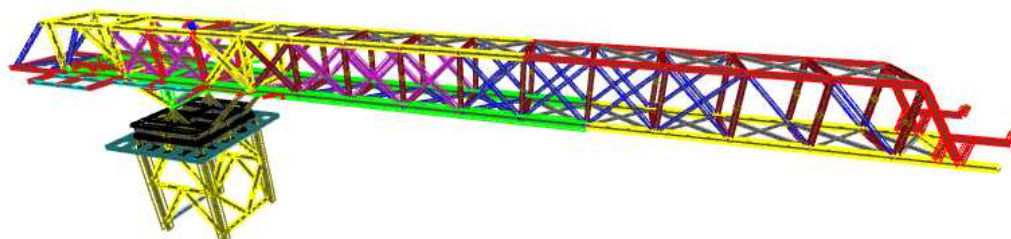
Statické řešení je provedeno za pomoci studentské verze SCIA Engineer 19.0. Výpočtem je analyzován prostorový model konstrukce zakladače kameniva. Stavební objekt je modelován jako prutová konstrukce v obecné pracovní rovině XYZ. Prutový model je nejdříve nakreslen v programu AutoCAD a následně nainportován do výpočetního programu Scia engineer. V tomto programu jsou k jednotlivým prutům přiděleny konkrétní profily a zjištěny maximální vnitřní síly, průhyby či napětí.



Obr. 3: Prutový model mostu zakladače ze Scia Engineer

2.3 Výpočetní data

V následující tabulce jsou uvedeny a barevně rozlišeny použité profily. Jedná se především o válcované průřezy HEA či HEB nebo o rovnoramenné úhelníky.

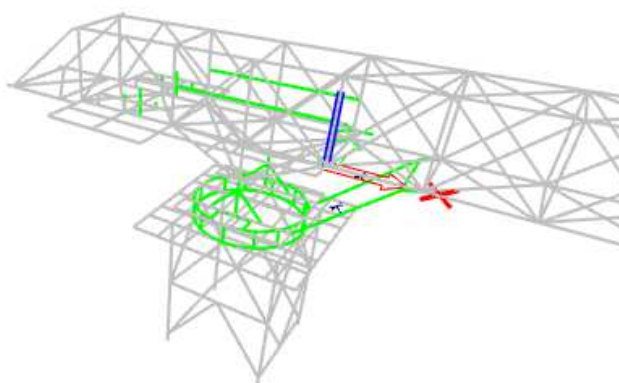


Obr. 4: Barevné znázornění použitých průřezů

Tab. 8: Použití průřezů v konstrukci

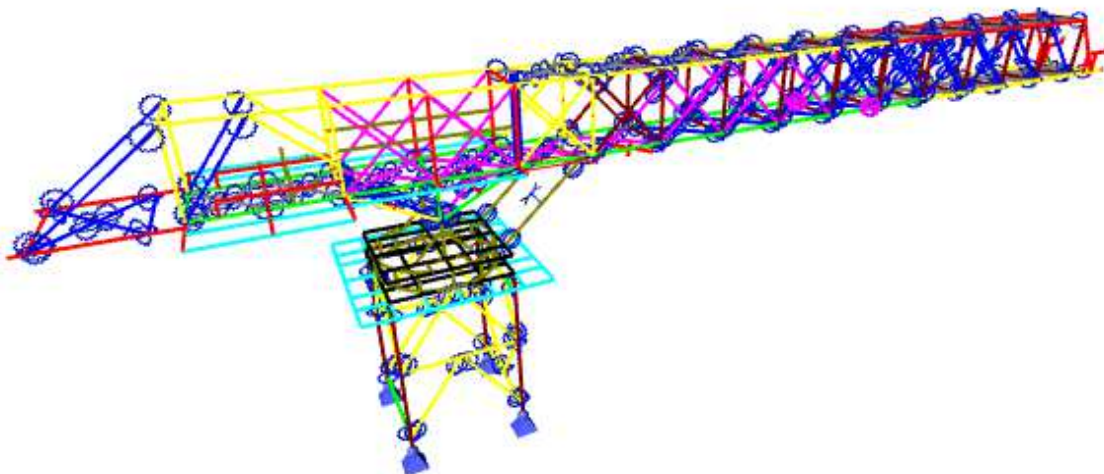
Prvek	Průřez	Barva
Rámové vazby	HEA 120	
Horní koncový pás, prvky související s dolním předním pásem	HEA 140	
Dolní koncový pás, horní přední pás, prvky ztužení podpůrné věže	HEB 180	
Dolní přední pás	HEB 280	
Sloupy podpůrné věže	HEB 300	
Rošt spojující most s věží	HEB 500	
Prvky plošiny mostu	IPE 120	
Prvky plošiny věže	IPE 140	
Diagonály horního a dolního předního pásu	L 80x8	
Diagonály bočního předního ztužení	L 100x10	
Diagonály střední části věže	L 120x12	
Ztužení sloupů podpůrné věže	UNP 200	

K přenesení zatížení či místa působení zatížení je využito nekonečně tuhých prutů o nulové hmotnosti. Jedná se hlavně o hydraulický válec, který umožňuje naklánět pracovní rovinu. V tomto prvku dochází ke konstrukční nelinearitě (vyloučení tlaku). Tento druh nelinearity je řešen pomocí Picardovy iterační metody. Další použití tuhých prutů je v čepovém spoji. Slouží k lepšímu přenesení zatížení z mostu do kotevního roštu. Tuhé pruty se nacházejí také v kruhovém otočném zařízení (horizontální otáčení mostu) mezi rošty z HEB 500. K zavedenému zatížení od příslušenství zakladače je rovněž využito tuhých prvků. Tuhé pruty jsou znázorněny na obrázku (Obr. 5).



Obr. 5: Tuhé pruty

Podpory konstrukce jsou modelovány jako pevné kloubové. Většina připojení prvků je modelována jako kloubová s pootočením kolem své osy y a z . Ve zbylých případech se jedná o tuhé připojení.



Obr. 6: Klouby v konstrukci

2.4 Zatížení

Ocelová konstrukce je dimenzována na následující zatížení (Tab.10) za pomoci programu Scia Engineer 19.0. Do výpočetního programu je zadáno celkem 13 různých zatěžovacích stavů. Přehled všech stavů včetně typu, doby působení a skupiny zatížení jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.11). Skupina zatížení ovlivňuje, jak se budou jednotlivé zatěžovací stavy mezi sebou kombinovat (určují, které stavy mohou spolu působit). Skupiny zatížení jsou uvedeny v tabulce níže (Tab.11). Typ skupiny výběrová znamená, že žádné dva zatěžovací stavy v této skupině nemohou působit společně. Naopak typ skupiny standard určuje, že všechny stavy v této skupině spolu mohou působit společně.

Tab. 9: Zatěžovací stavy

Zatěžovací stav	Popis	Typ působení	Doba působení	Skupina zatížení
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	Stálé	SZ1
ZS2a	Stálé zatížení - pororošt	Stálé	Stálé	SZ1
ZS2b	Stálé zatížení - krycí mřížka	Stálé	Stálé	SZ1
ZS2c	Stálé zatížení - plech	Stálé	Stálé	SZ1
ZS2d	Stálé zatížení - technologické_1	Stálé	Stálé	SZ1
ZS2e	Stálé zatížení - násypka	Stálé	Stálé	SZ1
ZS2f	Stálé zatížení - technologické_2	Stálé	Stálé	SZ1
ZS2g	Stálé zatížení - betonové panely	Stálé	Stálé	SZ1
ZS3	Dopravovaný materiál	Proměnné	Krátkodobé	SZ2
ZS4	Užitné zatížení - osoby_1	Proměnné	Krátkodobé	SZ3
ZS5	Užitné zatížení - osoby_2	Proměnné	Krátkodobé	SZ3
ZS6	Napětí od řemene	Proměnné	Krátkodobé	SZ4
ZS7	Zatížení sněhem	Proměnné	Krátkodobé	SZ5_sníh
ZS8	Zatížení větrem směr +Y (+Z)	Proměnné	Krátkodobé	SZ6_vítr
ZS9	Zatížení větrem směr +Y (-Z)	Proměnné	Krátkodobé	SZ6_vítr
ZS10	Zatížení větrem směr +Y (-+Z)	Proměnné	Krátkodobé	SZ6_vítr
ZS11	Zatížení větrem směr +Y (+-Z)	Proměnné	Krátkodobé	SZ6_vítr
ZS12	Zatížení větrem směr +X	Proměnné	Krátkodobé	SZ6_vítr
ZS13	Zatížení větrem směr -X	Proměnné	Krátkodobé	SZ6_vítr

Tab. 10: Skupiny zatížení

Název	Typ zatížení	Vztah zatížení
SZ1	-	
SZ2	Kategorie E: sklady	Standard
SZ3	Kategorie E: sklady	Standard
SZ4	Kategorie E: sklady	Standard
SZ5	Sníh	Standard
SZ6	Vítr	Výběrová

2.4.1 Zatížení stálé

2.4.1.1 Od vlastní tíhy nosných prvků

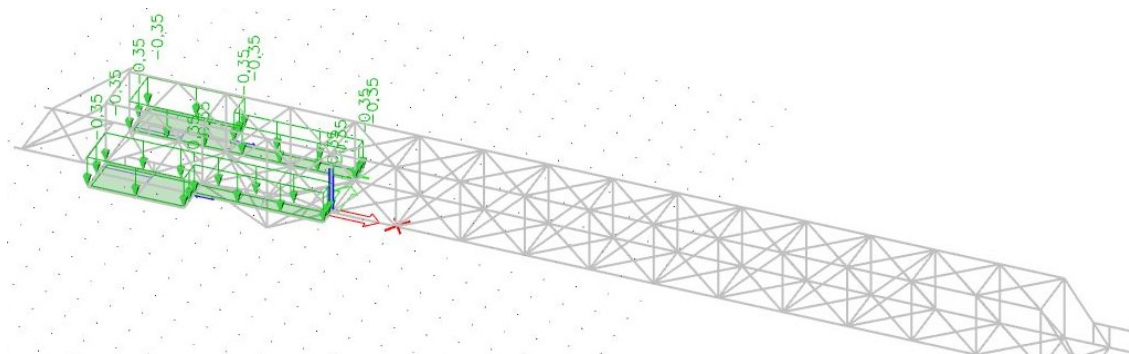
Vlastní tíha nosných prvků (ZS1) je generována softwarovým systémem Scia Engineer 2018. Vypočtena je ze zadaných materiálových charakteristik a dimenzí průřezů.

2.4.1.2 Ostatní stálé zatížení

ZS2a – podlaha pororošt

$$g_k = 0,35 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Jedná se o vlastní tíhu podlahy pokrytou pororoštem. Tato část slouží k obsluze stroje.

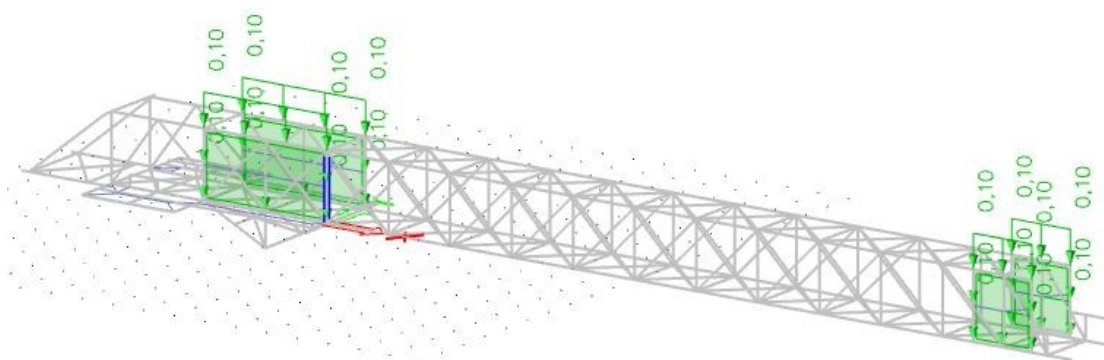


Obr. 7: Zatížení pororoštem

ZS2b – krycí mřížka

$$g_k = 0,1 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Krycí mřížka slouží k opláštění příslušenství mostu zakladače.

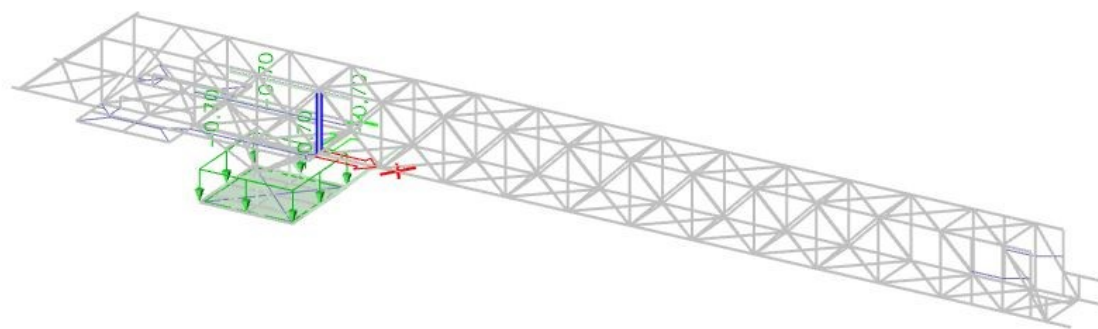


Obr. 8: Zatížení krycí mřížkou

ZS2c – podlaha plech

$$g_k = 0,7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Plech je součástí kotevního roštu.



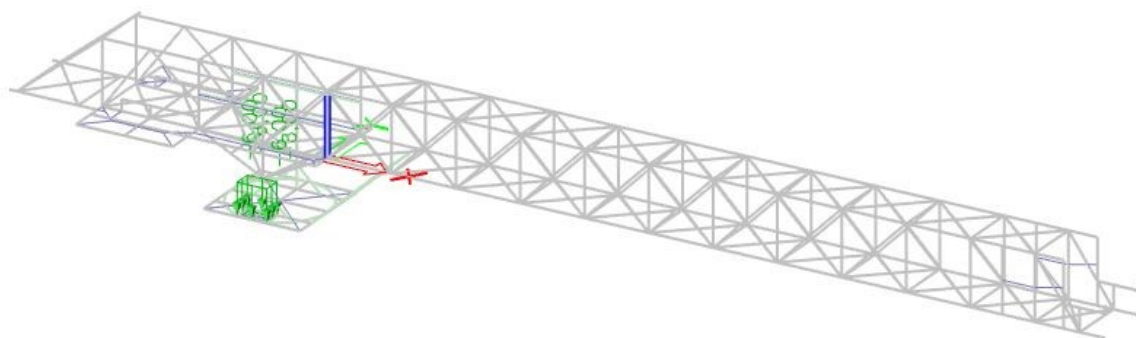
Obr. 9: Zatížení podlahovým plechem

ZS2d – technologické zatížení_1

$$g_k = 6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

920 x 550 mm

Toto zatížení vychází z podkladů výrobce [3].



Obr. 10: Technologické zatížení_1

ZS2e – násypka

$$g_k = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

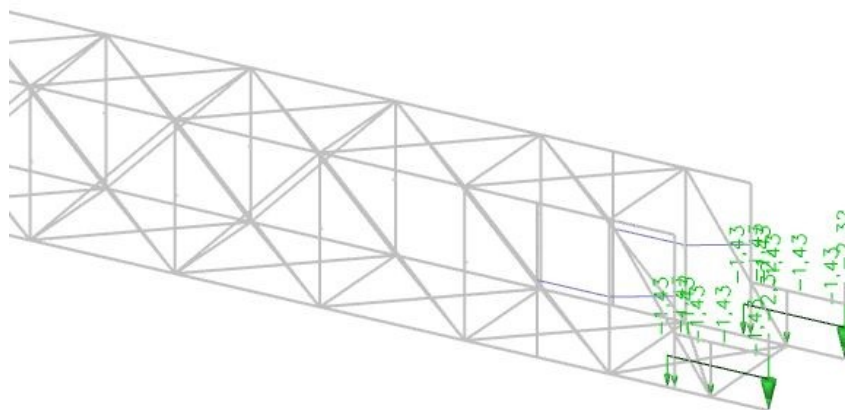
Zatížení působí na délce 1,4 m. Převáděno na spojitě zatížení.

$$\left(1,4 \cdot 1,97 + 1,4 \cdot \frac{1,8}{2}\right) \cdot 0,5 = 2,00 \text{ kN}$$

$$g_k = \frac{2,0}{1,4} = 1,43 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Síla na koncové části.

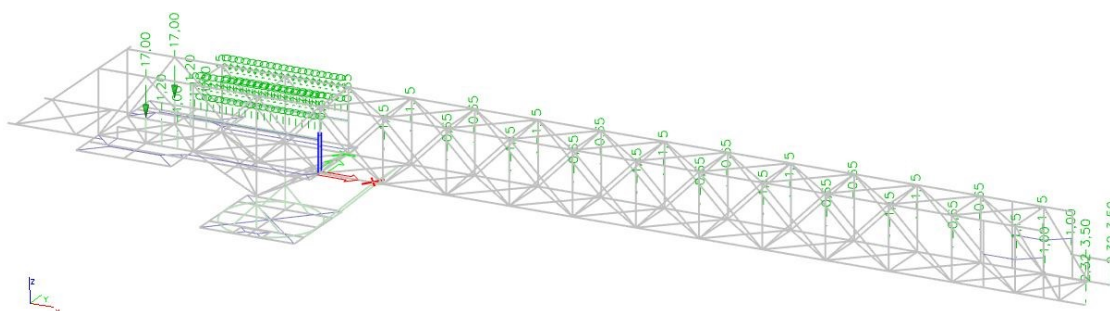
$$G_k = 1,0 \cdot 1,97 + \frac{1,0 \cdot 1,8}{2} + \frac{1,8 \cdot 1,97}{2} = 2,32 \text{ kN}$$



Obr. 11: Zatížení násypkou

ZS2f - technologické zatížení_2

Toto zatížení vychází z podkladů výrobce [3].

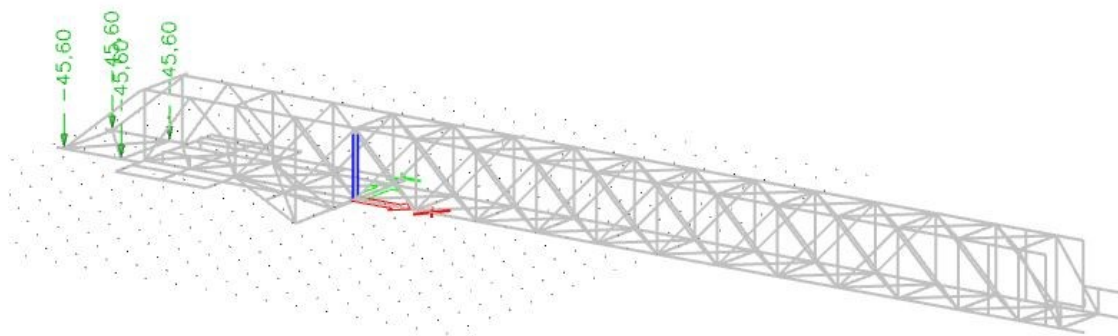


Obr. 12: Technologické zatížení_2

ZS2g – Betonové panely

$$m = 4 \cdot 4,56t$$

$$G_k = 45,6 \text{ kN}$$



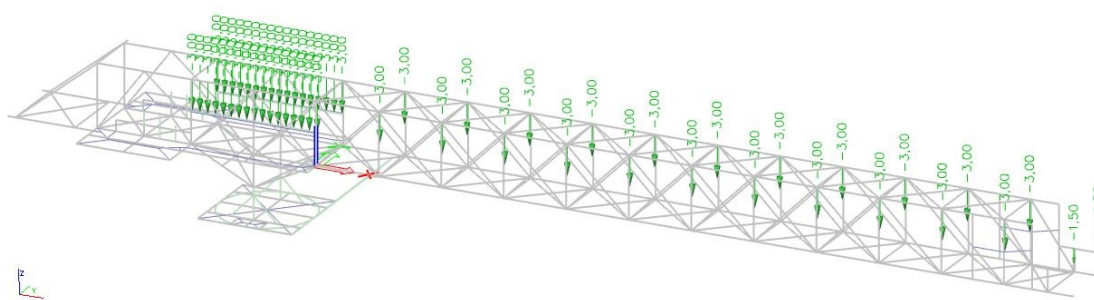
Obr. 13: Zatížení betonovými panely

2.4.2 Zatížení proměnné

2.4.2.1 Dopravovaný materiál

ZS3 – Dopravovaný materiál

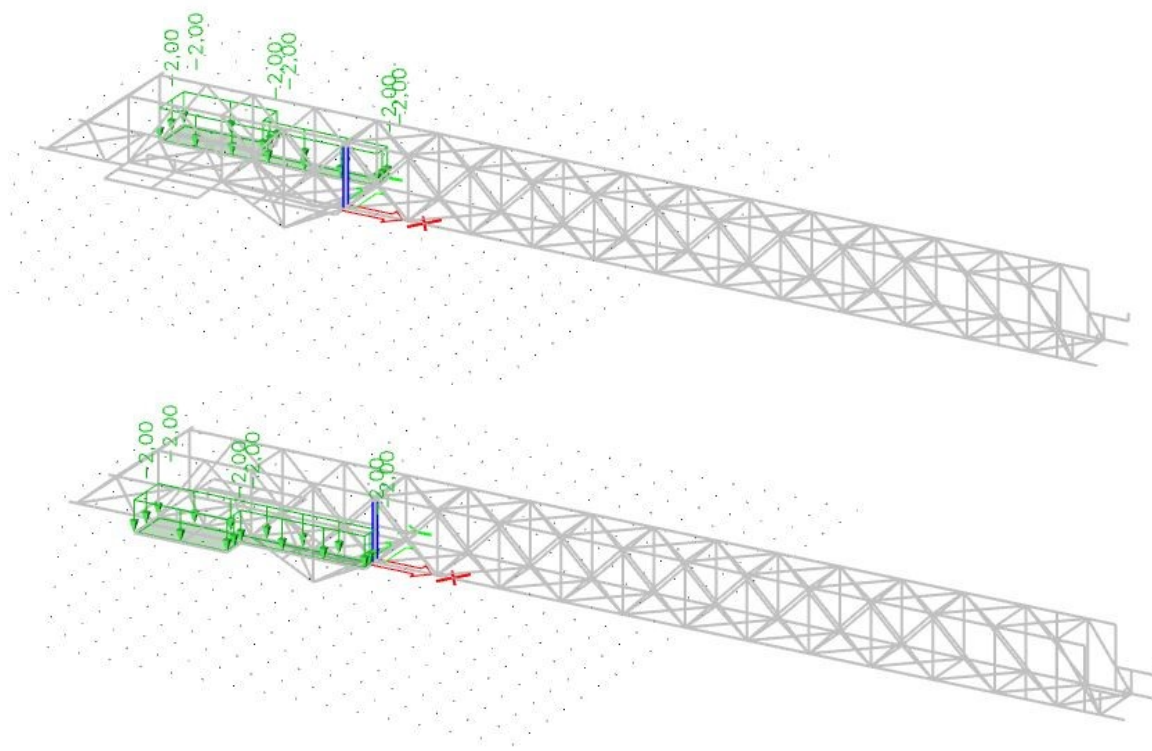
Toto zatížení vychází z podkladů výrobce [3].



Obr. 14: Zatížení materiálem

2.4.2.2 Užité zatížení – osoby

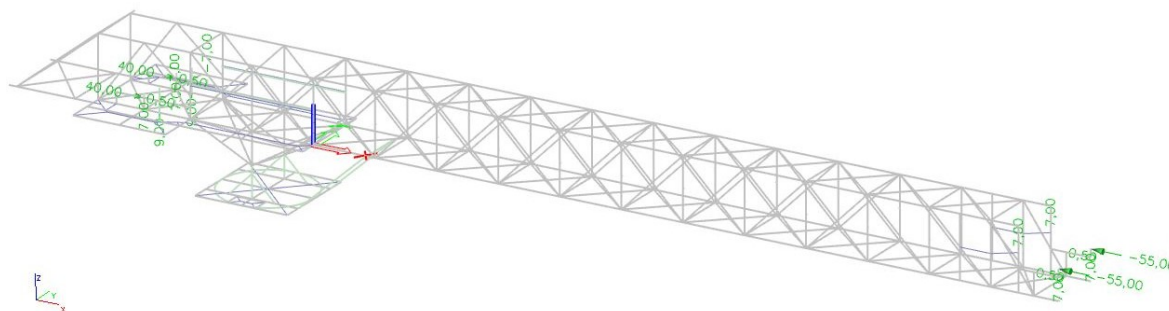
Zatížení se týká obsluhujících plošin mostu. Hodnota tohoto zatížení je rovna $q_k = 2,5 \text{ kN.m}^{-2}$. Ve výpočetním modelu je toto zatížení modelováno na plošiny pomocí zatěžovacího panelu.



Obr. 15: Užiténé zatížení - osoby

2.4.2.3 Napětí od řemene

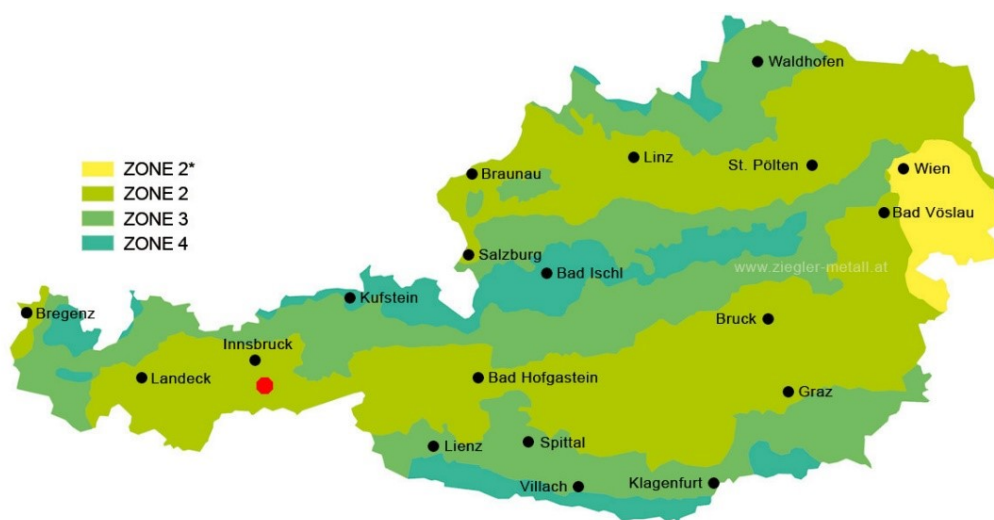
Jedná se o síly způsobené napnutím řemene, jímž se zajišťuje doprava kameniva. Napínací zařízení je nezbytnou součástí dopravníku. Aplikovaná napínací síla je nutná k vyvolání dostatečného tření mezi bubnem a pásem, tak aby mohla být přenesena požadovaná hnací síla. Na správném napnutí závisí životnost pásu a tím i hospodárnost zařízení.



Obr. 16: Síly od řemene

2.4.2.4 Zatížení sněhem

Charakteristická hodnota zatížení sněhem byla vyčtena ze sněhové mapy (Obr.17). Řešený objekt se nachází ve sněhové zóně 2 (na obr.17 je znázorněn červeným bodem) v nadmořské výšce 1150 m n.m. . Postup výpočtu zatížení je v souladu s ÖNORM B 1991-1-3 [14].



Obr. 17: Sněhová mapa [16]

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi se vypočte ze vztahu:

$$s_k = (0,642 \cdot z + 0,009) \cdot \left[1 + \left(\frac{h}{728} \right)^2 \right], \quad (2.1)$$

kde z je ovlivněno sněhovou zónou, v řešené konstrukci $z=2$ (zóna 2), h je nadmořská výška objektu.

$$s_k = (0,642 \cdot 2 + 0,009) \cdot \left[1 + \left(\frac{1150}{728} \right)^2 \right] = 4,52 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Zatížení sněhem se vypočte ze vztahu:

$$s = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_i \quad (2.2)$$

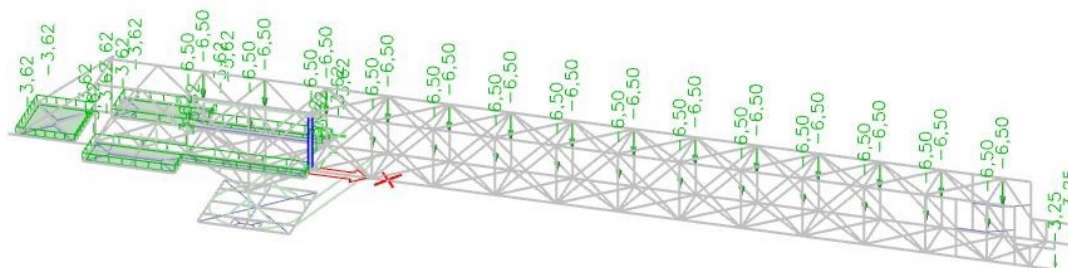
kde s_k je charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi, C_e je součinitel expozice, C_t je tepelný součinitel a μ_i je tvarový součinitel zatížení.

Tab. 11: Výpočetní hodnoty pro zatížení sněhem

S_k	4,52
C_e	1,0
C_t	1,0
μ_i	0,8

$$s = 0,8 \cdot 4,52 = 3,62 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Zatížení sněhem je uvažováno na obslužných plošinách a betonových panelech. Pro prvky mostu je zatížení sněhem dáno výrobcem [3].



Obr. 18: Zatížení sněhem

2.4.2.5 Zatížení větrem

Z přílohy A z rakouské normy ÖNORM B 1991-1-4 [15] jsou pro oblast Steinach am Brenner stanoveny hodnoty základní rychlosti a tlaku větru.

$$v_{b,0} = 25,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$q_{b,0} = 0,39 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Stavba se nachází v kategorii terénu II. Jedná se o oblast s rovnoměrnou vegetací nebo budovami nebo s jednotlivými objekty menšími než dvacetinásobek výšky překážky. Objekt dosahuje výšky 21,9 m nad terénem. Z těchto údajů je stanoven maximální dynamický tlak $q_{(z)}$, který zahrnuje střední a krátkodobé fluktuace rychlosti větru.

$$c_{e(z)} = 2,10 \cdot \left(\frac{21,9}{10}\right)^{0,24} = 2,535$$

$$q_{p(z)} = 2,535 \cdot 0,39 = \mathbf{0,989\ kN \cdot m^{-2}}$$

Síly od větru F_w působící na konstrukci nebo nosný prvek, lze stanovit z výrazu:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \ , \quad (2.3)$$

kde $c_s c_d$ je součinitel konstrukce, c_f je součinitel síly, $q_p(z_e)$ je maximální dynamický tlak v referenční výšce, A_{ref} je referenční plocha konstrukce nebo nosného prvku.

Hodnoty součinitele velikosti konstrukce c_s a dynamického součinitele c_d se uvažují hodnotou 1,0, která odpovídá pozemním stavbám nižším než 15 m. Následně byly stanoveny hodnoty součinitele síly c_f pro prvky konstrukce dle vzorce:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (2.4)$$

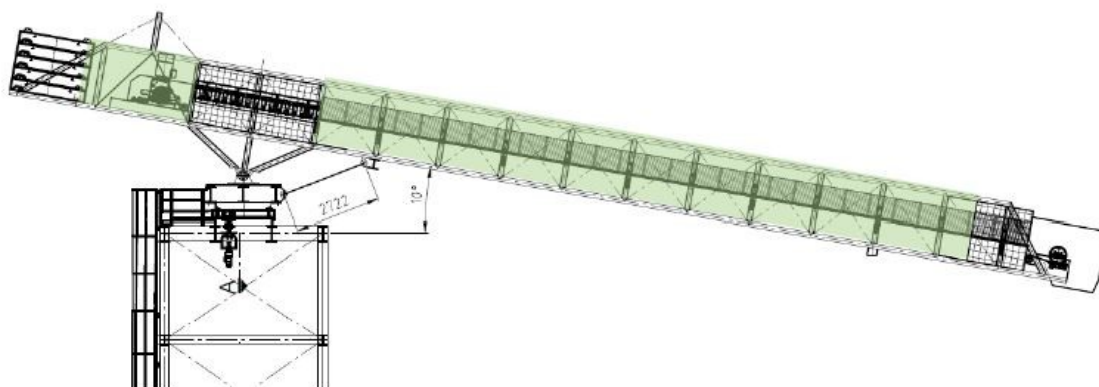
kde $c_{f,0}$ je součinitel síly pro obdélníkové průřezy s ostrými rohy a ψ_λ součinitel koncového efektu pro prvky s volnými konci. Pro určení součinitele síly $c_{f,0}$ musíme stanovit poměr šířek průřezu. Součinitel koncového efektu ψ_λ se ve výpočtu uvažuje hodnotou 1,0 na stranu bezpečnou.

Vítr působící na typickou příhradu ve směru Y

Zavádí se jako plošné zatížení a roznáší se na obě stěny mostu.

$$\varphi \approx 0,35 \rightarrow c_f = 2,5$$

$$F_w = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 0,989 \cdot 0,35 = 0,43\ kN \cdot m^{-2}$$



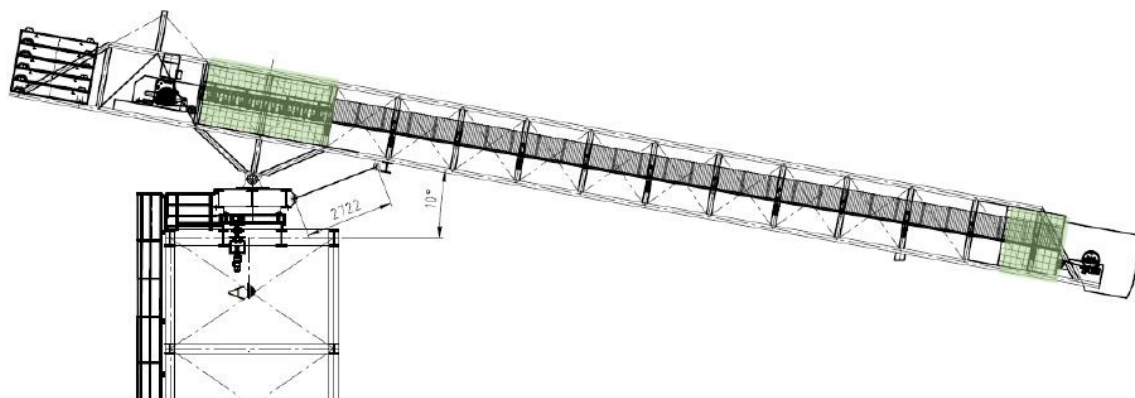
Obr. 19: Vítr působící na typickou příhradu

Vítr působící na příhradu s krycí mřížkou ve směru Y

Zavádí se jako plošné zatížení a roznáší se na obě stěny mostu.

$$\varphi \approx 0,8 \rightarrow c_f = 2,0$$

$$F_w = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,989 \cdot 0,8 = 0,79 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$



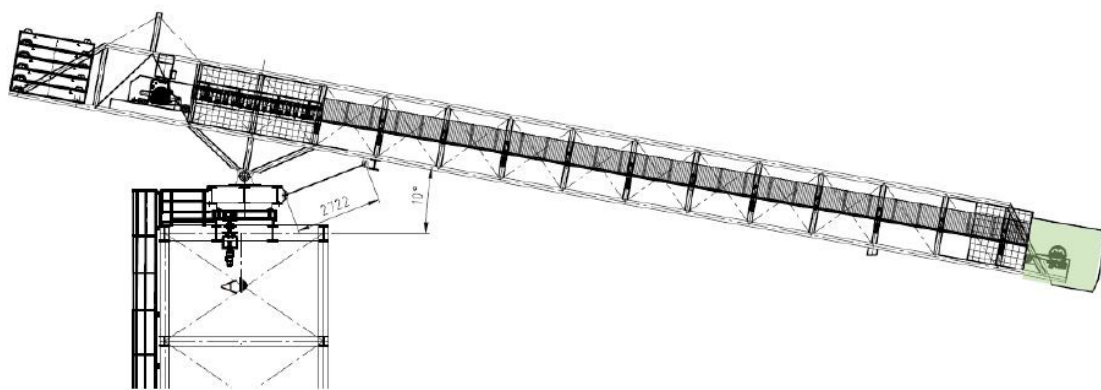
Obr. 20: Vítr působící na příhradu pokrytou mřížovinou

Vítr působící na násypku ve směru Y

Vítr naráží na ocelový plech násypky o rozloze 2x2,5 m. Zatížení se zavádí jako bodová síla, která působí na konci konstrukce a roznáší se na obě stěny mostu.

$$\varphi = 1,0 \rightarrow c_f = 2,0$$

$$F_w = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,989 \cdot 2,5 \cdot 2 = 4,95 \text{ kN}$$



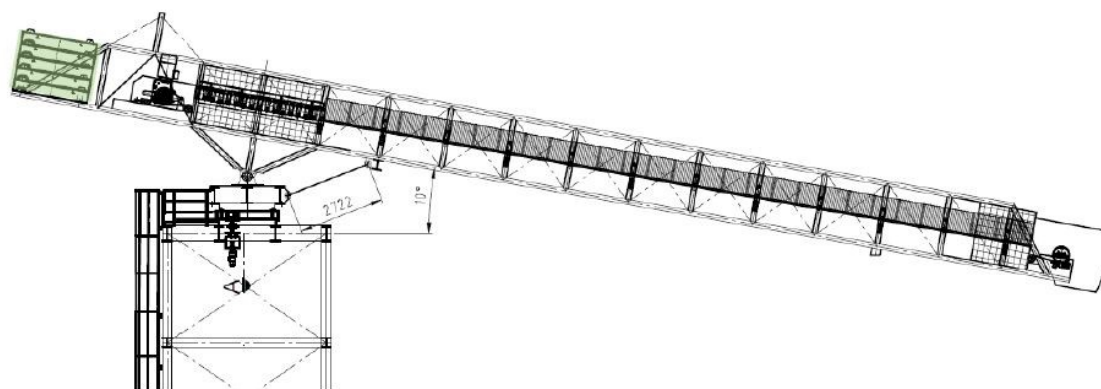
Obr. 21: Vítr působící na násypku

Vítr působící na betonové panely ve směru Y

Zavádí se jako spojité zatížení, které se roznáší na obě stěny mostu. Výška betonových panelů činí 2 m.

$$\varphi = 1,0 \rightarrow c_f = 2,0$$

$$F_w = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,989 \cdot 2 = 1,98 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$



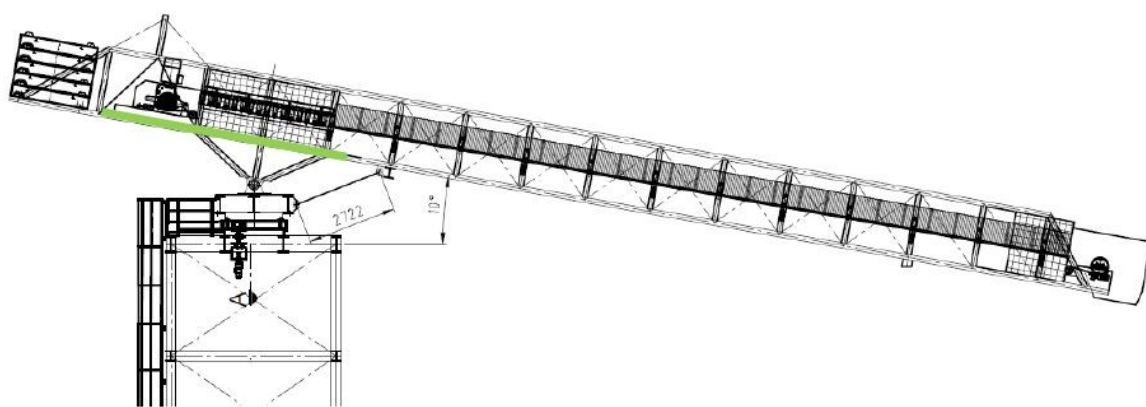
Obr. 22: Vítr působící na betonové panely

Vítr působící na vnější nosníky chodníku ve směru Y

Vítr se opírá o vysoké krajní nosníky obslužné plošiny (předpokládá se výška nosníku 0,16 m). Zatížení se zavádí jako spojité, které působí po délce nosníku. Pro nosné prvky uvažované bez vlivu proudění kolem volných konců se uvažuje hodnota $c_f = 2,0$. Tato hodnota je stanovena z měření při nízké turbulenci. Hodnoty jsou považovány za bezpečné. Vliv dalších strukturálních prvků chodníků je zohledněn 100% nárůstem.

$$c_f = 2,0$$

$$F_w = 1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,989 \cdot 0,16 \cdot 2 = 0,63 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$



Obr. 23: Vítr působící na chodníkové nosníky

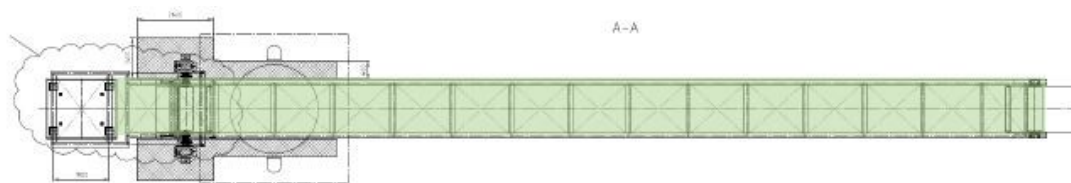
Vítr působící na typickou příhradu ve směru Z

V případě absence modelových zkoušek ve větrném tunelu se pro směr Z uvažují doporučené hodnoty $c_{f,z}=0,9$. Tato hodnota souhrnně vyjadřuje vliv možné fluktuace úhlu směru větru vzhledem ke konstrukci mostu. Zatížení se uvažuje jako plošné a roznáší se na obě bočnice mostu.

$$\varphi \approx 0,35$$

$$c_{f,z} = 0,9$$

$$F_w = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,989 \cdot 0,35 = 0,16 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$



Obr. 24: Vítr působící na typickou příhradu směr Z

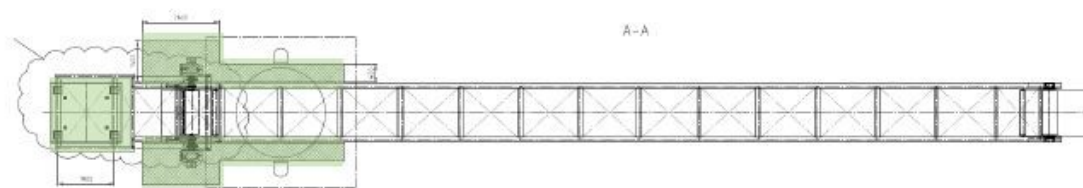
Vítr působící na chodník a betonové panely ve směru Z

Zatížení se uvažuje jako plošné.

$$\varphi = 1$$

$$c_{f,z} = 0,9$$

$$F_w = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,989 = 0,89 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$



Obr. 25: Vítr působící na chodník a panely ve směru Z

Vítr působící na typickou příhradu ve směru X

Větrné zatížení ovlivňuje hlavně příčně uzavřené rámy mostu. Vliv dalších konstrukčních prvků a technologií je zohledněn 100% nárůstem. Předpokládaný rozměr prvků rámu je 0,16 m.

$$c_f = 2,0$$

$$F_w = 1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,989 \cdot 0,16 \cdot 2 = 0,63 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Vítr působící na násypku ve směru X

Plocha násypky ve směru X se odhaduje na $2,5 \text{ m}^2$. Zatížení se uvažuje jako dvě bodové síly na konci konstrukce mostu.

$$c_f = 2,0$$

$$F_w = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 0,989 \cdot 2,5 = 2,47 \text{ kN}$$

Vítr působící na betonové panely ve směru X

Odhadovaná výška panelů činí 2 m . Zatížení se zavádí jako spojitě, rozložené na přední a zadní straně panelů.

$$c_f = 2,0$$

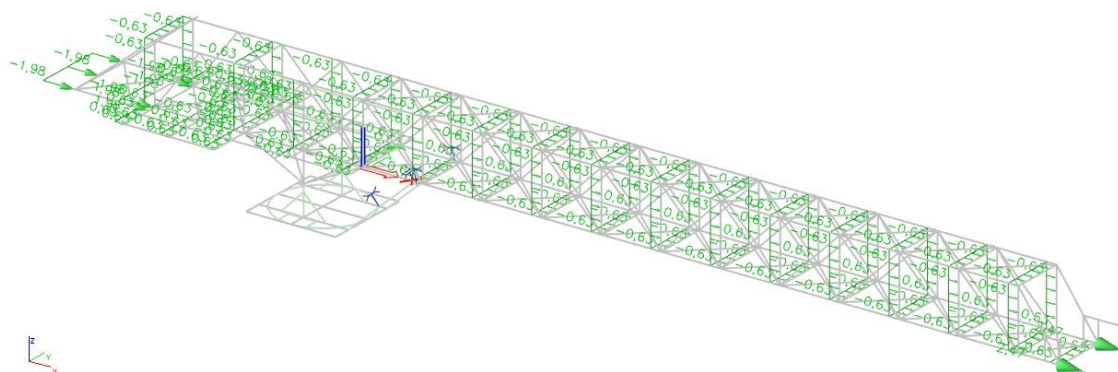
$$F_w = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 0,989 \cdot 2 = 1,98 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Vítr působící na vnější nosníky chodníku plošiny ve směru X

Vítr se opírá o vysoké krajní nosníky obslužné plošiny (předpokládá se výška nosníku $0,16 \text{ m}$). Zatížení se uvažuje jako spojitě, které působí po délce nosníku. Pro nosné prvky uvažované bez vlivu proudění kolem volných konců se zavádí hodnota $c_f = 2,0$. Tato hodnota je stanovena z měření při nízké turbulenci. Hodnoty jsou považovány za bezpečné. Vliv dalších strukturálních prvků chodníků je zohledněn 100% nárůstem.

$$c_f = 2,0$$

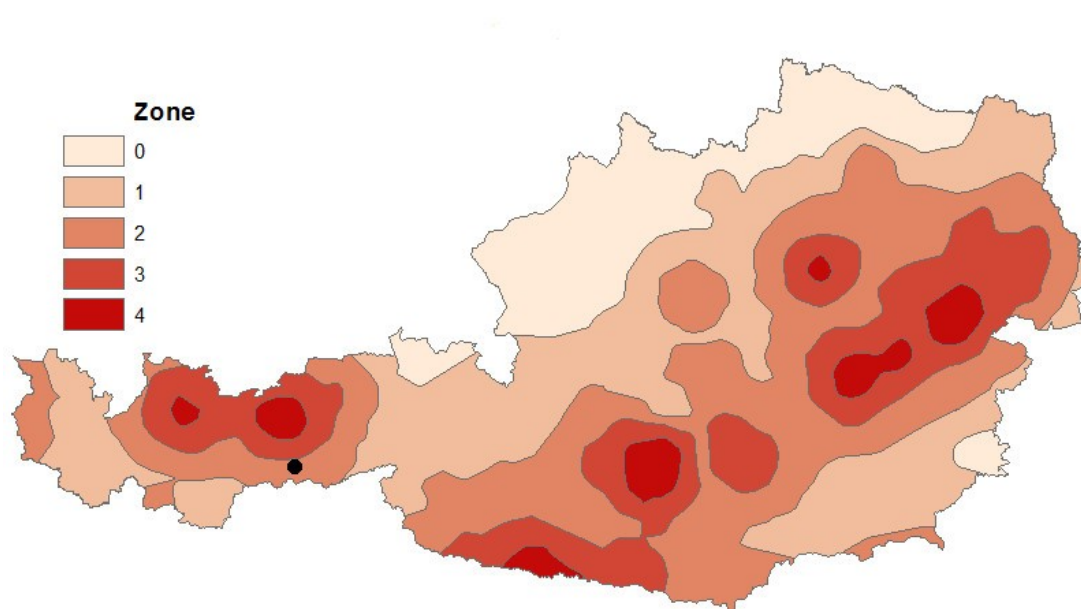
$$F_w = 1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,989 \cdot 0,16 \cdot 2 = 0,63 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$



Obr. 26: Vítr působící ve směru X

2.4.2.6 Seizmické zatížení

Území státu je rozděleno na seizmické oblasti podle stupně ohrožení, přičemž ohrožení uvnitř oblasti se považuje za konstantní. Ohrožení je ve většině případů popsáno hodnotou referenčního zrychlení základové půdy a_{gr} , kterou můžeme vyhledat v mapě seizmických oblastí. Mapa seizmických oblastí je znázorněna na (obr. 27). Pro oblast, kde se nachází Steinach am Brenner, je referenční zrychlení rovno $0,72 \text{ m/s}^2$. Vzhledem k nízkému referenčnímu zrychlení a hodnotám předpokládaných zatížení nebude v posudku seizmické zatížení rozhodující. Pro statický výpočet se s tímto zatížením neuvažuje.



Obr. 27: Seizmická mapa [17]

2.5 Kombinace zatížení

Poněvadž jsou stavební konstrukce jen zřídka zatíženy jedním zatížením, je nutno zkoumat spolehlivost konstrukce i při působení kombinace většího počtu zatížení. V kombinaci se zmenšuje pravděpodobnost současného působení rozdílných zatížení. Kombinace byly ze zatěžovacích stavů generovány automaticky v softwarovém výpočetním programu Scia engineer.

Jsou vygenerovány kombinace za použití typu EN-MSÚ (STR/GEO) soubor B. Zatěžovací stavy se kombinují podle méně příznivé kombinace z následujících dvou výrazů z normy 6.10a (2.5) a 6.10b (2.6):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.5)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad . \quad (2.6)$$

Dále jsou z výpočtu uvedeny součinitele zatížení (pro stálá zatížení příznivá a nepříznivá, hlavní a doprovodné proměnné zatížení a redukční součinitel):

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,5$$

$$\xi = 1,35$$

Dále kombinační součinitele ψ :

$$\psi_{0,1} = 0,7 \text{ - pro užitná zatížení}$$

$$\psi_{0,1} = 0,5 \text{ - pro zatížení sněhem}$$

$$\psi_{0,1} = 0,6 \text{ - pro zatížení větrem}$$

V tabulce (Tab. 18) je znázorněn klíč kombinací. Jsou vygenerovány kombinace za použití typu EN-MSP Charakteristická. Zatěžovací stavy se kombinují podle charakteristické kombinace z následujícího výrazu z normy 6.14b (2.7):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad . \quad (2.7)$$

Kombinační součinitele ψ jsou stejné jako v případě mezního stavu únosnosti.

Výpočet vnitřních sil je proveden pomocí nelineárních kombinací (Tab.13). Vygenerováno je 2243 lineárních kombinací. Z těchto lineárních kombinací jsou vybrány ty nejnepríznivější kombinace. Navíc byly přidány kombinace, o kterých je možno si myslet, že by mohly v konečném důsledku rozhodovat. V následující tabulce je znázorněn klíč kombinací.

Tab. 12: Klíč kombinací

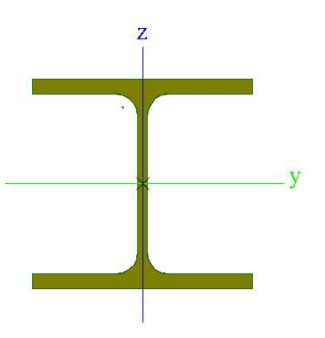
ZS / Komb	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9	ZS10	ZS11	ZS12	ZS13
NC1	1,15	1,15	1,5							0,9			1,5
NC2	1,15	1,15	1,5		1,5		1,5						0,75
NC3	1,15	1,15	1,5			1,5				1,5			0,75
NC4	1,15	1,15	1,5		1,5					1,5			0,75
NC5	1,15	1,15	1,5	1,5							0,9		1,5
NC6	1,15	1,15			1,5	1,5			1,5				
NC7	1	1	1,5		1,5					1,5			0,75
NC8	1,15	1,15	1,5		1,5	1,5	0,9						1,5
NC9	1,15	1,15	1,5	1,5						0,9			1,5
NC10	1,15	1,15	1,5							1,5			0,75
NC11	1,15	1,15	1,5								0,9		1,5
NC12	1,15	1,15	1,5	1,5						1,5			0,75
NC13	1,35	1,35				1,5	0,9						0,75
NC14	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Největších vnitřních sil je dosaženo v pracovní pozici -10°. Nejkritičtější kombinace jsou shledány kombinace NC1, NC8 a NC9. Rozdíl vnitřních sil se mezi jednotlivými pozicemi pohybuje okolo 6-9 %. Rozdíl mezi lineárním výpočtem a nelineárním je do 7 %.

2.6 Posouzení nosných prvků mostu zakladače – MSÚ

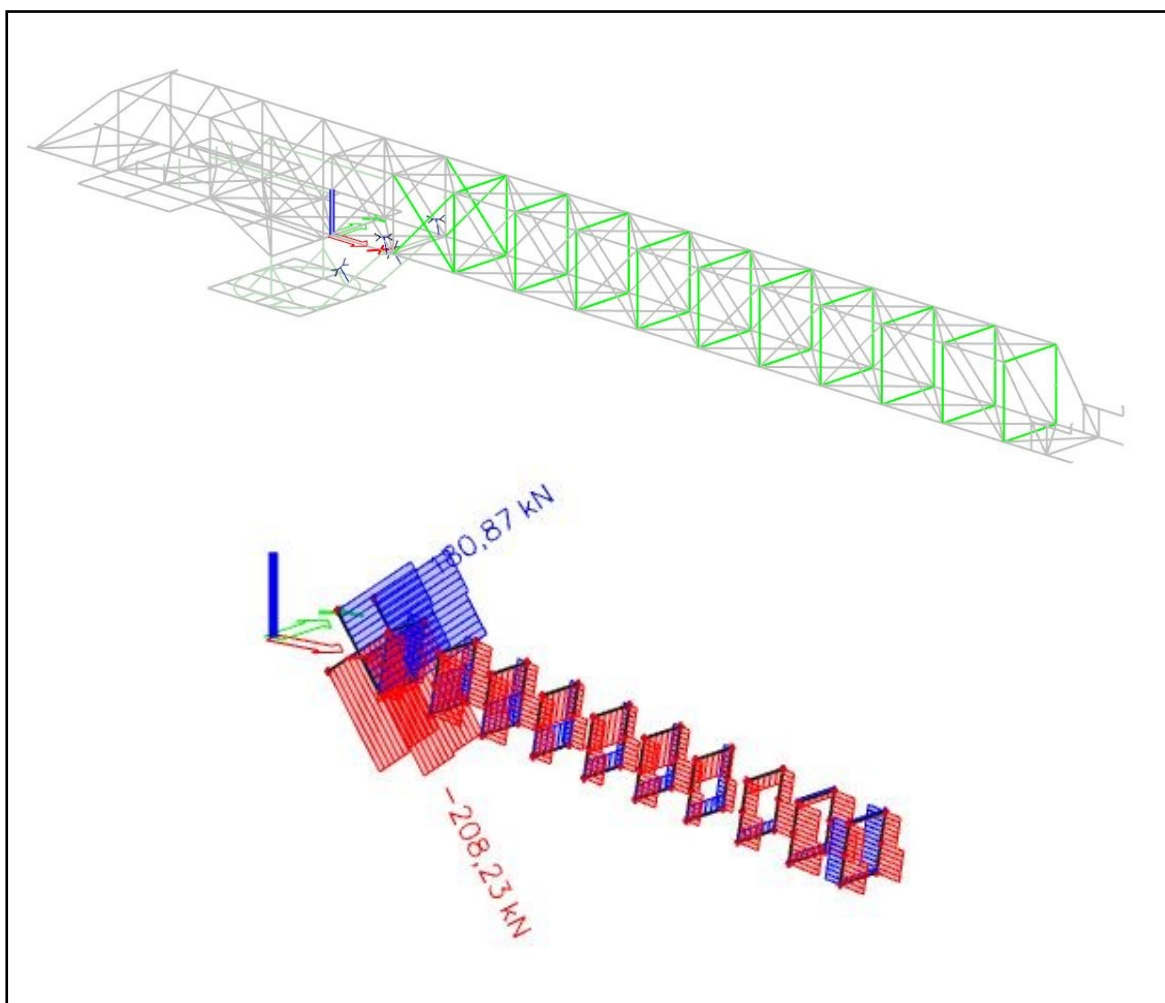
2.6.1 HEA 120

Tab. 13: Průřezové charakteristiky HEA 120

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$2,5300 \times 10^{-3}$	m^2	
I_y	$6,0600 \times 10^{-6}$	m^4	
I_z	$2,3100 \times 10^{-6}$	m^4	
W_{ply}	$1,1958 \times 10^{-4}$	m^3	
W_{plz}	$5,8750 \times 10^{-5}$	m^3	
I_t	$5,9900 \times 10^{-8}$	m^4	

Tab. 14: Vnitřní síly HEA 120

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	180,87 [kN]	NC5	-10°
$N_{Ed} -$	208,23 [kN]	NC8	-10°



Obr. 28: Vnitřní síly HEA120

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Ohýbaná část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{114 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 12}{5} = 14,8 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{114 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 12}{5} = 14,8 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{60 - 2,5 - 12}{8} = 5,7 < 9\varepsilon = 7,3 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Průřez je zařazen do třídy 1.

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 898,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{180,87}{898,15} = 0,20 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2828 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,31 \cdot 10^{-6}}{2,828^2} = 598,65 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{598,65}} = 1,22$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **c** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,22 - 0,2) + 1,22^2 \right] = 1,50$$

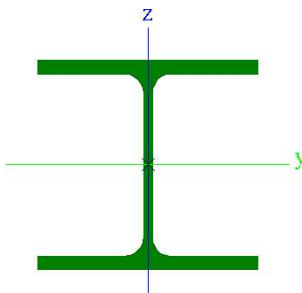
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,50 + \sqrt{1,50^2 - 1,22^2}} = 0,42$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,42 \cdot 2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 379,09 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{208,23}{379,09} = 0,55 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

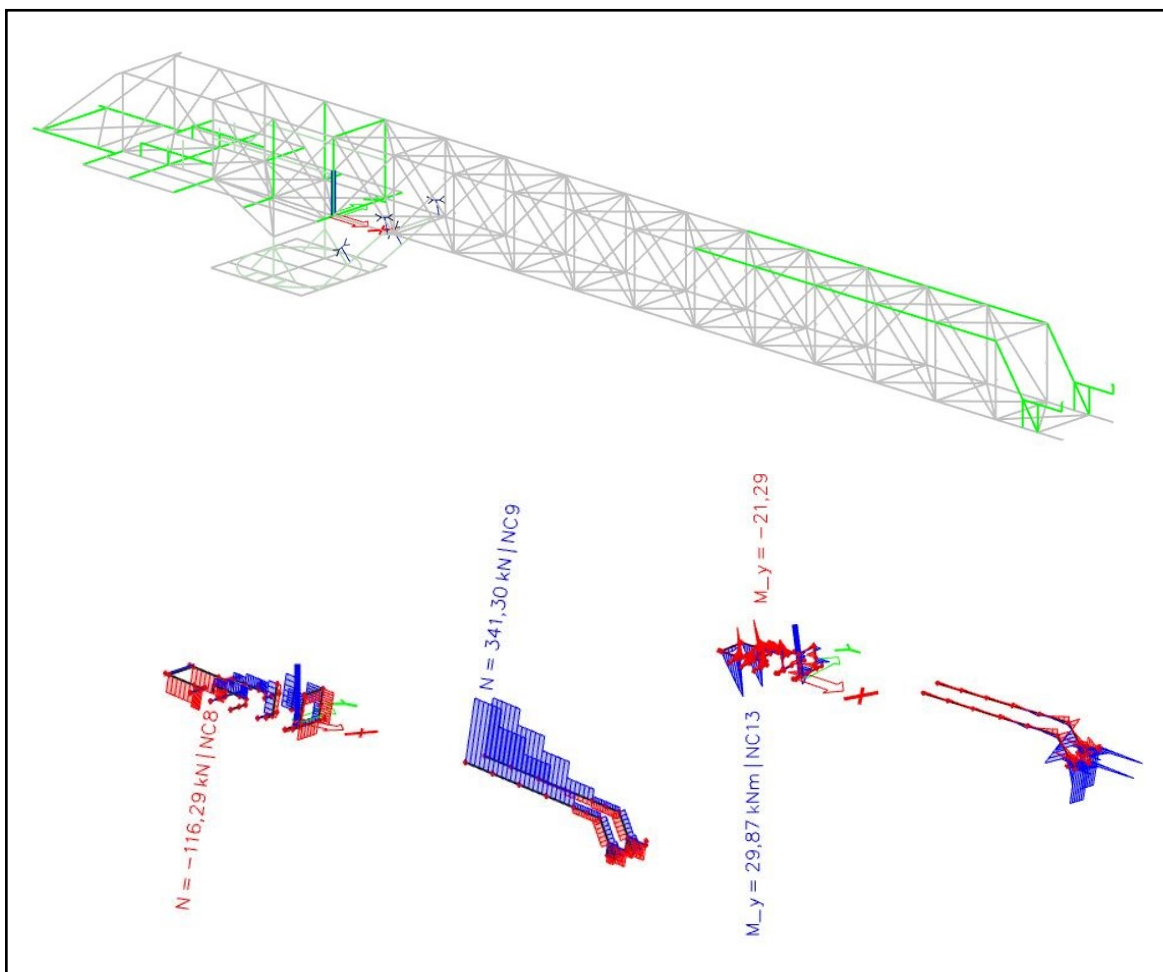
2.6.2 HEA 140

Tab. 15: Průřezové charakteristiky HEA140

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$3,1400 \times 10^{-3}$	m^2	
I_y	$1,0300 \times 10^{-5}$	m^4	
I_z	$3,8900 \times 10^{-6}$	m^4	
W_{ply}	$1,7333 \times 10^{-4}$	m^3	
W_{plz}	$8,5000 \times 10^{-5}$	m^3	
I_t	$8,1300 \times 10^{-8}$	m^4	

Tab. 16: Vnitřní síly HEA 140

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	341,30 [kN]	NC9	-10°
$N_{Ed} -$	116,29 [kN]	NC8	-10°
$V_{Ed,y}$	-93,78 [kN]	NC5	-10°
$V_{Ed,z}$	-84,14 [kN]	NC3	+15°
$M_{Ed,y}$	29,87 [kN.m]	NC13	$\pm 0^\circ$
$M_{Ed,z}$	-14,56 [kN.m]	NC8	-10°



Obr. 29: Vnitřní síly HEA 140

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Ohýbaná část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{133 - 2 \cdot 8,5 - 2 \cdot 12}{5,5} = 16,7 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{133 - 2 \cdot 8,5 - 2 \cdot 12}{5,5} = 16,7 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{70 - 2,75 - 12}{8,5} = 6,5 < 9\varepsilon = 7,3 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Průřez je zařazen do třídy 1.

Posouzení na tah:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1114,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{341,30}{1114,70} = 0,31 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,733 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 61,53 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{29,87}{61,53} = 0,49 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,85 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 30,18 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{14,56}{30,18} = 0,48 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 3,14 \cdot 10^3 - 2 \cdot 140 \cdot 8,5 + (5,5 + 2 \cdot 12) \cdot 8,5 \\ &= 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,01 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 207,01 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{93,78}{207,01} = 0,45 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = 2500 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1900 \text{ mm}$$

Vzpěr ve směru osy z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,03 \cdot 10^{-5}}{2,5^2} = 3415,67 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{3415,67}} = 0,57$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **c** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,57 - 0,2) + 0,57^2] = 0,75$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,57^2}} = 0,80$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,80 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 894,30 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{207,51}{894,30} = 0,23 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Vzpěr ve směru osy y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 3,89 \cdot 10^{-6}}{1,9^2} = 2233,37 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{2233,37}} = 0,71$$

$\alpha = 0,34 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,34

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,71 - 0,2) + 0,71^2] = 0,84$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,84 + \sqrt{0,84^2 - 0,71^2}} = 0,78$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,78 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 869,51 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{207,51}{869,51} = 0,24 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci smyku, ohybu a osově síly

Smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti. Z tohoto důvodu je možné zanedbat účinek na únosnost průřezu v této kombinaci. Pro výpočet je nutno stanovit návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{341,30}{1114,70} = 0,31$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{3,14 \cdot 10^3 - 2 \cdot 140 \cdot 8,5}{3,14 \cdot 10^3} = 0,24$$

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n)}{(1 - 0,5 \cdot a)} = \frac{61,53 \cdot (1 - 0,31)}{(1 - 0,5 \cdot 0,24)} = 48,25 \text{ kN.m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n - a}{1 - a}\right)\right] = 30,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,31 - 0,24}{1 - 0,24}\right)\right] = 27,40 \text{ kN.m}$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta = \left[\frac{26,60}{48,25}\right]^2 + \left[\frac{14,56}{27,40}\right]^{1,55} = 0,68 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku

$$C_{m,z} = 0,78$$

$$C_{m,y} = 0,99$$

$$C_{m,LT} = 1,00$$

$$k_{yy} = 1,02$$

$$k_{yz} = 0,51$$

$$k_{zz} = 0,79$$

$$k_{zy} = 0,56$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} = \\ = \frac{207,51}{\frac{0,80 \cdot 1114,70}{1,0}} + 1,02 \cdot \frac{29,87}{\frac{1,0 \cdot 61,53}{1,0}} + 0,51 \cdot \frac{14,56}{\frac{30,17}{1,0}} = 0,76 < 1 \end{aligned}$$

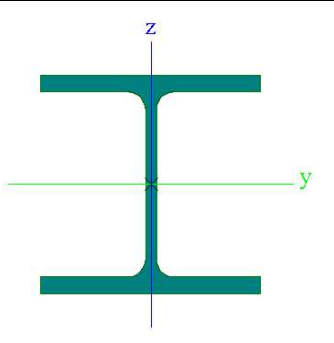
\Rightarrow **VYHOVÍ**

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} = \\ = \frac{207,51}{\frac{0,78 \cdot 1114,70}{1,0}} + 0,56 \cdot \frac{29,87}{\frac{1,0 \cdot 61,53}{1,0}} + 0,79 \cdot \frac{14,56}{\frac{30,17}{1,0}} = 0,68 < 1 \end{aligned}$$

\Rightarrow **VYHOVÍ**

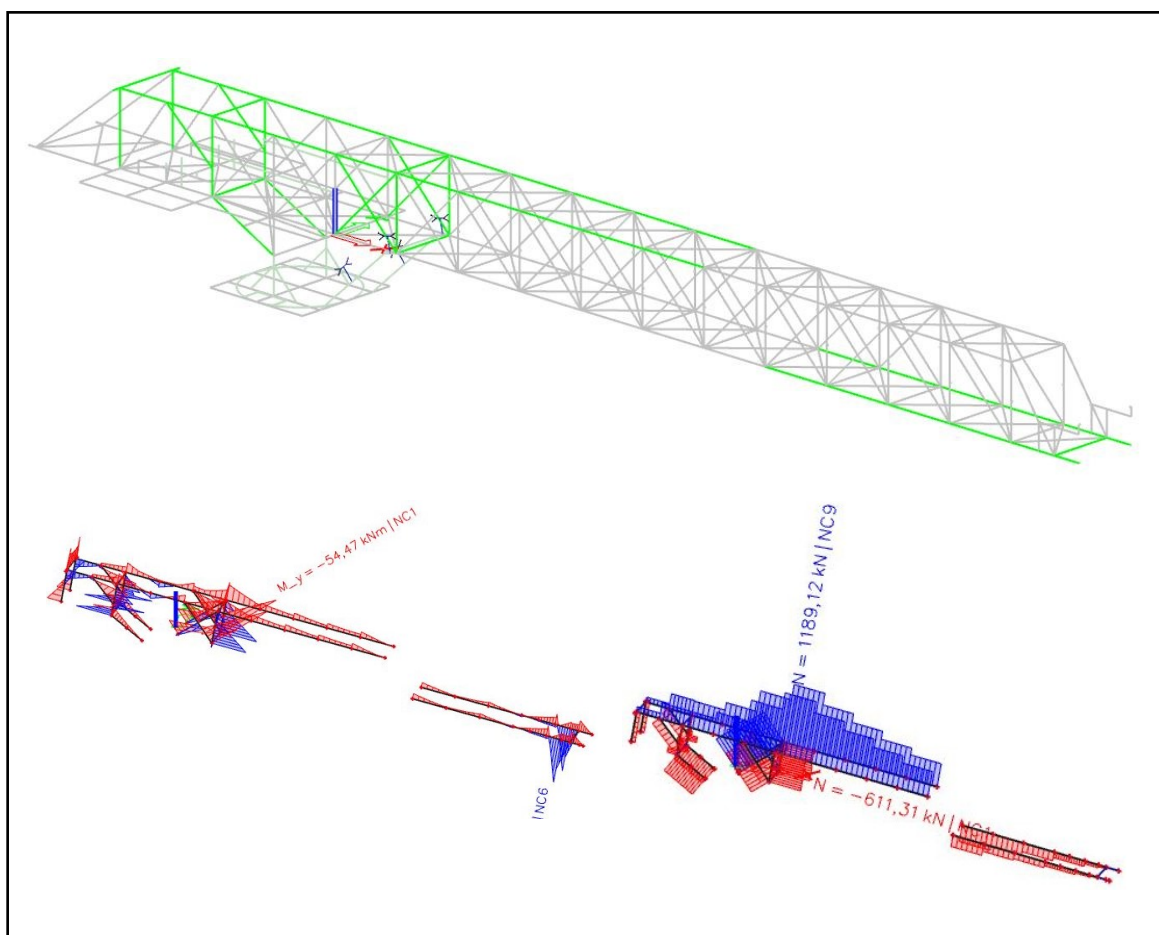
2.6.3 HEB 180

Tab. 17: Průřezové charakteristiky HEB 180

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$6,5250 \times 10^{-3}$	m ²	
I _y	$3,8310 \times 10^{-5}$	m ⁴	
I _z	$1,3630 \times 10^{-5}$	m ⁴	
W _{ply}	$4,8140 \times 10^{-4}$	m ³	
W _{plz}	$2,3100 \times 10^{-4}$	m ³	
I _t	$4,2160 \times 10^{-7}$	m ⁴	

Tab. 18: Vnitřní síly HEB 180

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	1189,12 [kN]	NC9	-10°
$N_{Ed} -$	611,31 [kN]	NC1	-10°
$V_{Ed,y}$	103,35 [kN]	NC13	$\pm 0^\circ$
$V_{Ed,z}$	116,70 [kN]	NC9	-10°
$M_{Ed,y}$	-54,47 [kN.m]	NC1	-10°
$M_{Ed,z}$	25,83 [kN.m]	NC13	$\pm 0^\circ$



Obr. 30: Vnitřní síly HEB 180

Zatřídění průřezu

Ohýbaná část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{180 - 2 \cdot 14 - 2 \cdot 15}{8,5} = 14,4 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{180 - 2 \cdot 14 - 2 \cdot 15}{8,5} = 14,4 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{90 - 4,25 - 15}{14} = 5,1 < 9\varepsilon = 7,3 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Průřez je zařazen do třídy 1.

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 2316,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1189,12}{2316,38} = 0,51 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{4,814 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 170,90 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{54,47}{170,90} = 0,32 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,310 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 82,00 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{25,83}{82,00} = 0,31 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 6,525 \cdot 10^3 - 2 \cdot 180 \cdot 14 + (8,5 + 2 \cdot 15) \cdot 14 \\ = 2,024 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{2,024 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 414,84 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{103,35}{207,01} = 0,50 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2000 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,363 \cdot 10^{-5}}{2,0^2} = 7062,44 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{7062,44}} = 0,57$$

$\alpha = 0,34 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,34

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,57 - 0,2) + 0,57^2 \right] = 0,73$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,57^2}} = 0,85$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,85 \cdot 6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1970,14 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{611,31}{1970,14} = 0,31 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci smyku, ohybu a osově síly

Smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti. Z tohoto důvodu je možné zanedbat tento účinek na únosnost průřezu v této kombinaci. Pro výpočet je nutno stanovit návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{414,61}{2316,38} = 0,18$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{6,525 \cdot 10^3 - 2 \cdot 180 \cdot 14}{6,525 \cdot 10^3} = 0,23$$

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n)}{(1 - 0,5 \cdot a)} = \frac{170,90 \cdot (1 - 0,18)}{(1 - 0,5 \cdot 0,23)} = 158,35 \text{ kN.m}$$

$$n < a \Rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{54,47}{158,35} \right]^2 + \left[\frac{5,74}{82,00} \right]^1 = 0,19 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku

$$C_{m,z} = 0,93$$

$$C_{m,y} = 0,99$$

$$C_{m,LT} = 1,05$$

$$k_{yy} = 1,05$$

$$k_{yz} = 0,70$$

$$k_{zz} = 0,99$$

$$k_{zy} = 0,56$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} =$$

$$= \frac{410,90}{\frac{0,95 \cdot 2316,38}{1,0}} + 1,05 \cdot \frac{54,47}{\frac{1,0 \cdot 170,90}{1,0}} + 0,51 \cdot \frac{3,08}{\frac{82,00}{1,0}} = 0,55 < 1$$

⇒ **VYHOVÍ**

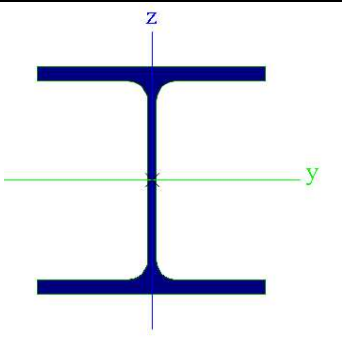
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} =$$

$$= \frac{410,90}{\frac{0,73 \cdot 2316,38}{1,0}} + 0,56 \cdot \frac{54,47}{\frac{1,0 \cdot 170,90}{1,0}} + 0,79 \cdot \frac{3,08}{\frac{82,00}{1,0}} = 0,46 < 1$$

⇒ **VYHOVÍ**

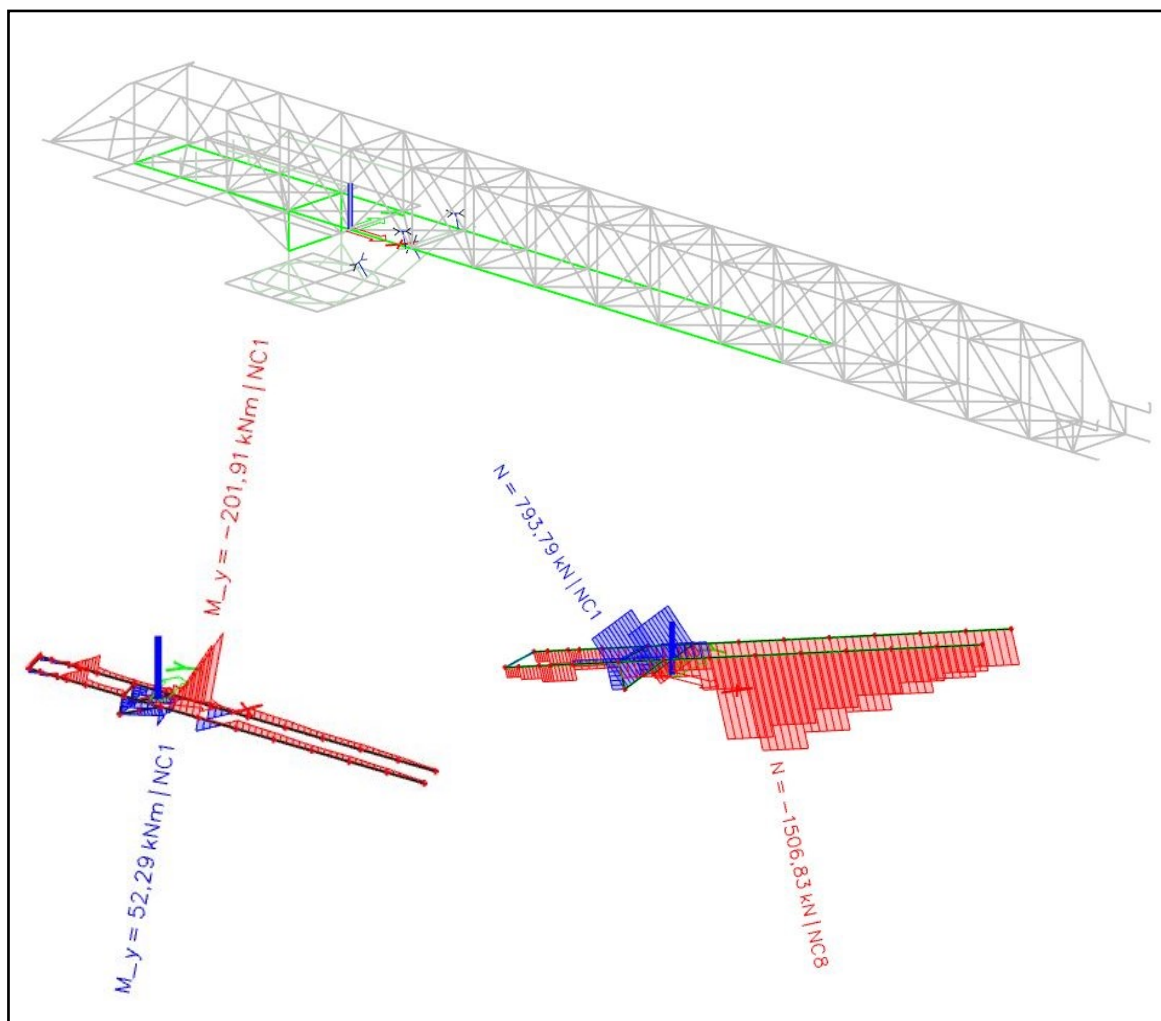
2.6.4 HEB 280

Tab. 19: Průřezové charakteristiky HEB 280

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	1,3140x10 ⁻²	m ²	
I _y	1,9270x10 ⁻⁴	m ⁴	
I _z	6,5950x10 ⁻⁵	m ⁴	
W _{ply}	1,5340x10 ⁻³	m ³	
W _{plz}	7,1760x10 ⁻⁴	m ³	
I _t	1,4370x10 ⁻⁶	m ⁴	

Tab. 20: Vnitřní síly HEB 280

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
N _{Ed} +	1266,8 [kN]	NC1	-10°
N _{Ed} -	1506,83 [kN]	NC8	+15°
V _{Ed,y}	-16,83 [kN]	NC7	±0°
V _{Ed,z}	-154,57 [kN]	NC11	±0°
M _{Ed,y}	-201,91 [kN.m]	NC1	-10°
M _{Ed,z}	13,6 [kN.m]	NC4	±0°



Obr. 31: Vnitřní síly HEB 280

Zatřídění průřezu

Ohýbaná část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{280 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 24}{10,5} = 18,7 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{280 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 24}{10,5} = 18,7 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 5,25 - 24}{18} = 6,2 < 9\varepsilon = 7,3 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Průřez je zařazen do třídy 1.

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{13,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 4664,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1266,80}{4664,70} = 0,27 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{15,34 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 544,57 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{201,91}{544,57} = 0,37 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{7,176 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 254,75 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{13,60}{254,75} = 0,05 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 13,14 \cdot 10^3 - 2 \cdot 280 \cdot 18 + (10,5 + 2 \cdot 24) \cdot 18 \\ &= 4,113 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{4,113 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 843,00 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{154,57}{843,00} = 0,18 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2000 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 6,595 \cdot 10^{-5}}{2,0^2} = 34\,172,27 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{13,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{34172,27}} = 0,37$$

$\alpha = 0,34 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,34

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,37 - 0,2) + 0,37^2 \right] = 0,60$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,60 + \sqrt{0,60^2 - 0,37^2}} = 0,94$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,94 \cdot 13,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 4375,56 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1506,83}{4375,56} = 0,34 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci smyku, ohybu a osově síly

Smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti. Z tohoto důvodu je možné zanedbat tento účinek na únosnost průřezu v této kombinaci. Pro výpočet je nutno stanovit návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1480,11}{4664,70} = 0,32$$

$$\alpha = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{13,14 \cdot 10^3 - 2 \cdot 280 \cdot 18}{13,14 \cdot 10^3} = 0,23$$

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n)}{(1 - 0,5 \cdot \alpha)} = \frac{544,57 \cdot (1 - 0,32)}{(1 - 0,5 \cdot 0,23)} = 418,43 \text{ kN.m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right) \right] = 254,75 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,32-0,23}{1-0,23} \right)^2 \right] = 251,27 \text{ kN.m}$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{201,91}{418,43} \right]^2 + \left[\frac{7,89}{251,27} \right]^{1,59} = 0,24 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku

$$C_{m,z} = 0,98$$

$$C_{m,y} = 1,00$$

$$C_{m,LT} = 1,03$$

$$k_{yy} = 0,98$$

$$k_{yz} = 0,56$$

$$k_{zz} = 0,86$$

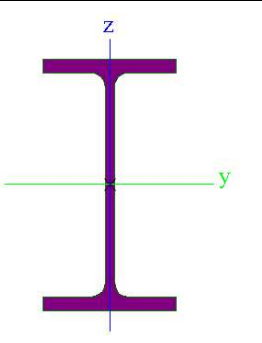
$$k_{zy} = 0,51$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} &= \\ &= \frac{1480,11}{1,00 \cdot 4664,70} + 0,98 \cdot \frac{34,16}{1,0 \cdot 544,57} + 0,56 \cdot \frac{7,77}{254,75} = 0,40 < 1 \\ &\Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} &= \\ &= \frac{1480,11}{0,94 \cdot 4464,70} + 0,51 \cdot \frac{34,16}{1,0 \cdot 544,57} + 0,86 \cdot \frac{7,77}{254,75} = 0,40 < 1 \\ &\Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

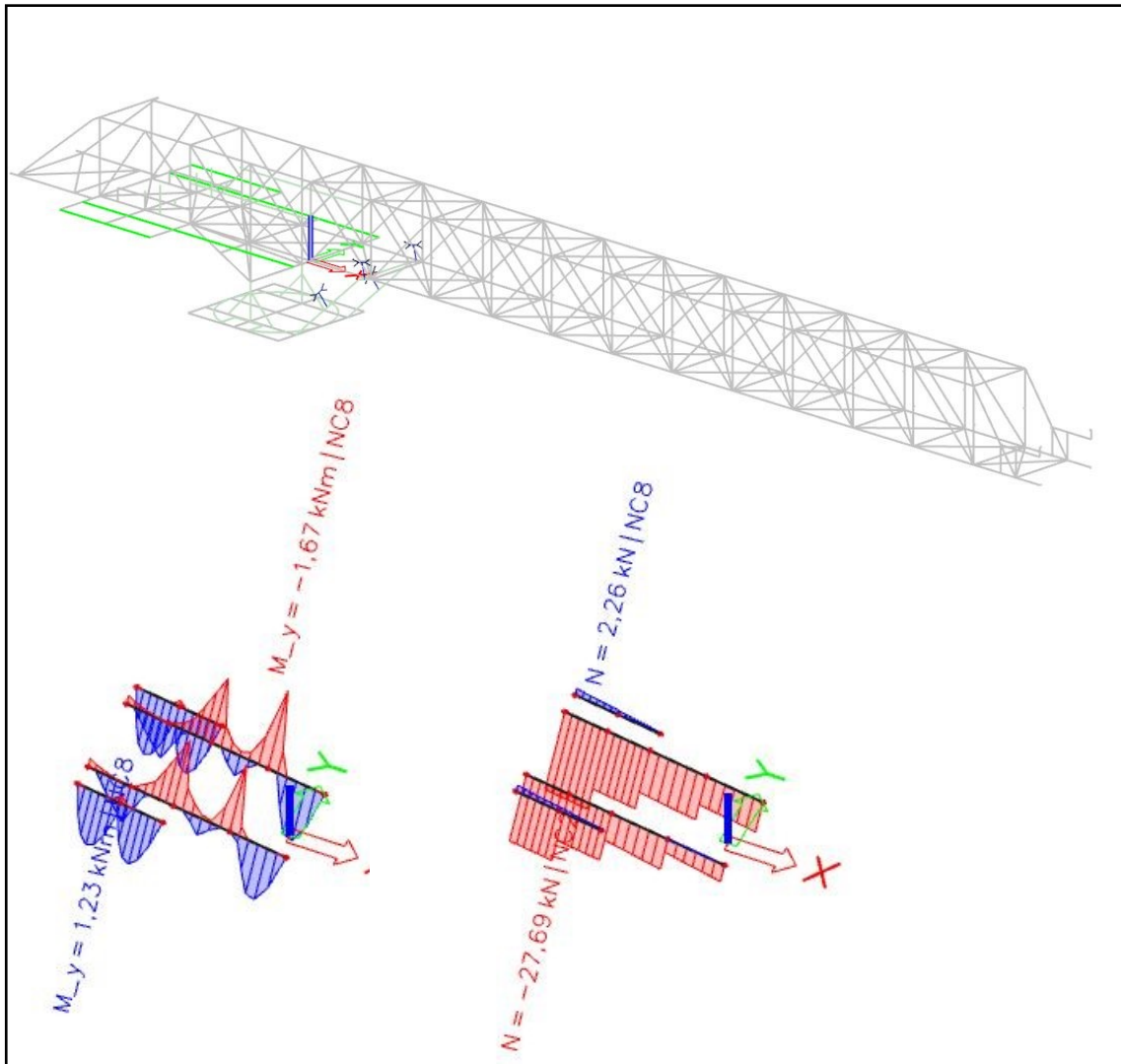
2.6.5 IPE 120

Tab. 21: Průřezové charakteristiky IPE120

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$1,3200 \times 10^{-3}$	m^2	
I_y	$3,1800 \times 10^{-6}$	m^4	
I_z	$2,7700 \times 10^{-7}$	m^4	
W_{ply}	$6,0700 \times 10^{-5}$	m^3	
W_{plz}	$1,3600 \times 10^{-5}$	m^3	
I_t	$1,7400 \times 10^{-8}$	m^4	

Tab. 22: Vnitřní síly IPE 120

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	2,46 [kN]	NC12	+15°
$N_{Ed} -$	27,69 [kN]	NC2	-10°
$V_{Ed,z}$	4,74 [kN]	NC8	-10°
$M_{Ed,y}$	-1,67 [kN.m]	NC8	-10°



Obr. 32: Vnitřní síly IPE120

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{355}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Ohýbaná část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{120 - 2 \cdot 6,3 - 2 \cdot 7}{4,4} = 21,2 < 72\varepsilon = 72 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{500 - 2 \cdot 28 - 2 \cdot 27}{14,5} = 21,2 < 33\varepsilon = 33 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{64 - 2,2 - 7}{6,3} = 8,7 < 9\varepsilon = 9 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Průřez je zařazen do třídy 1.

Posouzení na tah

Vzhledem k nízké tahové síle, průřez jistě vyhoví na posouzení v tahu.

Posouzení na ohyb

Vzhledem k nízkému ohybovému momentu M_y , průřez jistě vyhoví na posouzení v ohybu.

Posouzení na smyk

Vzhledem k nízké posouvající síle V_z , průřez jistě vyhoví na posouzení ve smyku.

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = 7000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1500 \text{ mm}$$

Ve směru osy z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 3,18 \cdot 10^{-6}}{7,0^2} = 134,51 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,320 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{134,51}} = 1,87$$

$\alpha = 0,34 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,34

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,87 - 0,2) + 1,87^2] = 2,53$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,53 + \sqrt{2,53^2 - 1,87^2}} = 0,24$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,24 \cdot 1,320 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00} = 110,88 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{27,69}{110,88} = 0,25 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Ve směru osy y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 2,77 \cdot 10^{-7}}{1,5^2} = 255,16 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,320 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{255,16}} = 1,36$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,36 - 0,2) + 1,36^2] = 1,70$$

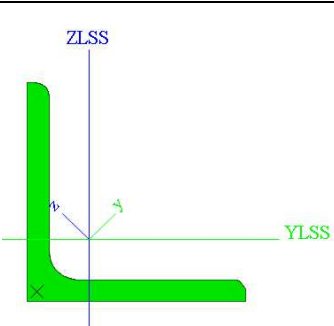
$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,70 + \sqrt{1,70^2 - 1,36^2}} = 0,37$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,37 \cdot 1,32 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00} = 171,66 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{27,69}{171,66} = 0,16 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

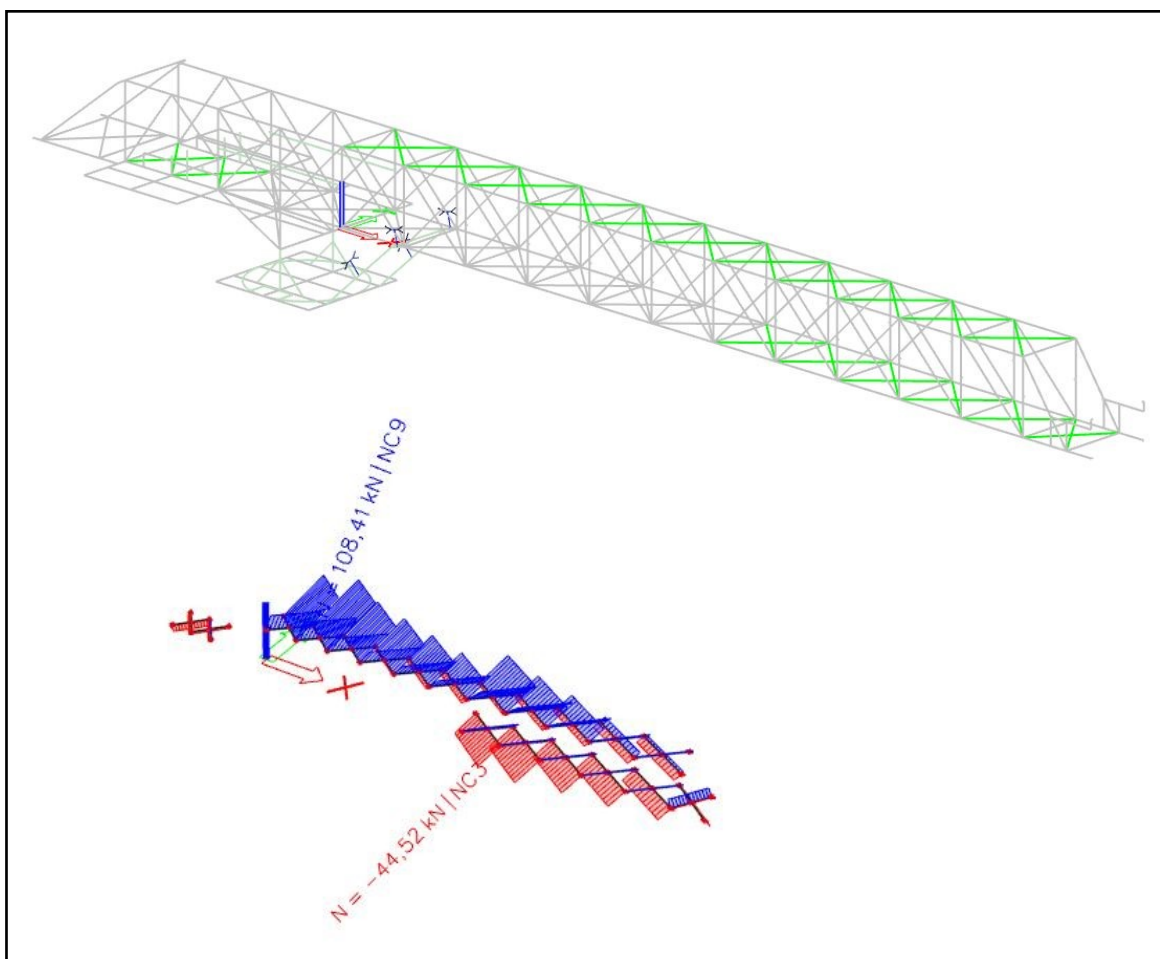
2.6.6 L80x8

Tab. 23: Průřezové charakteristiky L80x8

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$1,2300 \times 10^{-3}$	m^2	
I_y	$1,1500 \times 10^{-6}$	m^4	
I_z	$2,9600 \times 10^{-7}$	m^4	
W_{ply}	$3,2190 \times 10^{-5}$	m^3	
W_{plz}	$1,6563 \times 10^{-5}$	m^3	
I_t	$2,7300 \times 10^{-8}$	m^4	

Tab. 24: Vnitřní síly L80x8

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	108,41 [kN]	NC9	$\pm 0^\circ$
$N_{Ed} -$	45,43 [kN]	NC3	$+15^\circ$



Obr. 33: Vnitřní síly L80x8

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,23 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00} = 289,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{108,41}{289,05} = 0,38 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = 2690 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1345 \text{ mm}$$

Ve směru osy z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6}}{2,69^2} = 329,39 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,230 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{329,39}} = 1,15$$

$\alpha = 0,34 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,34

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,15 - 0,2) + 1,15^2] = 1,32$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,32 + \sqrt{1,32^2 - 1,15^2}} = 0,51$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,51 \cdot 1,230 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00} = 220,60 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{45,43}{220,60} = 0,21 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Ve směru osy y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 2,96 \cdot 10^{-7}}{1,345^2} = 339,13 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,230 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{339,13}} = 1,14$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,14 - 0,2) + 1,14^2] = 1,37$$

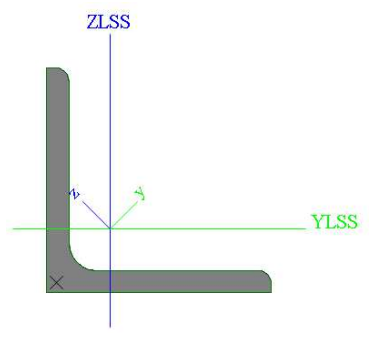
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,37 + \sqrt{1,37^2 - 1,14^2}} = 0,47$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,47 \cdot 1,23 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00} = 203,53 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{45,43}{203,53} = 0,22 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

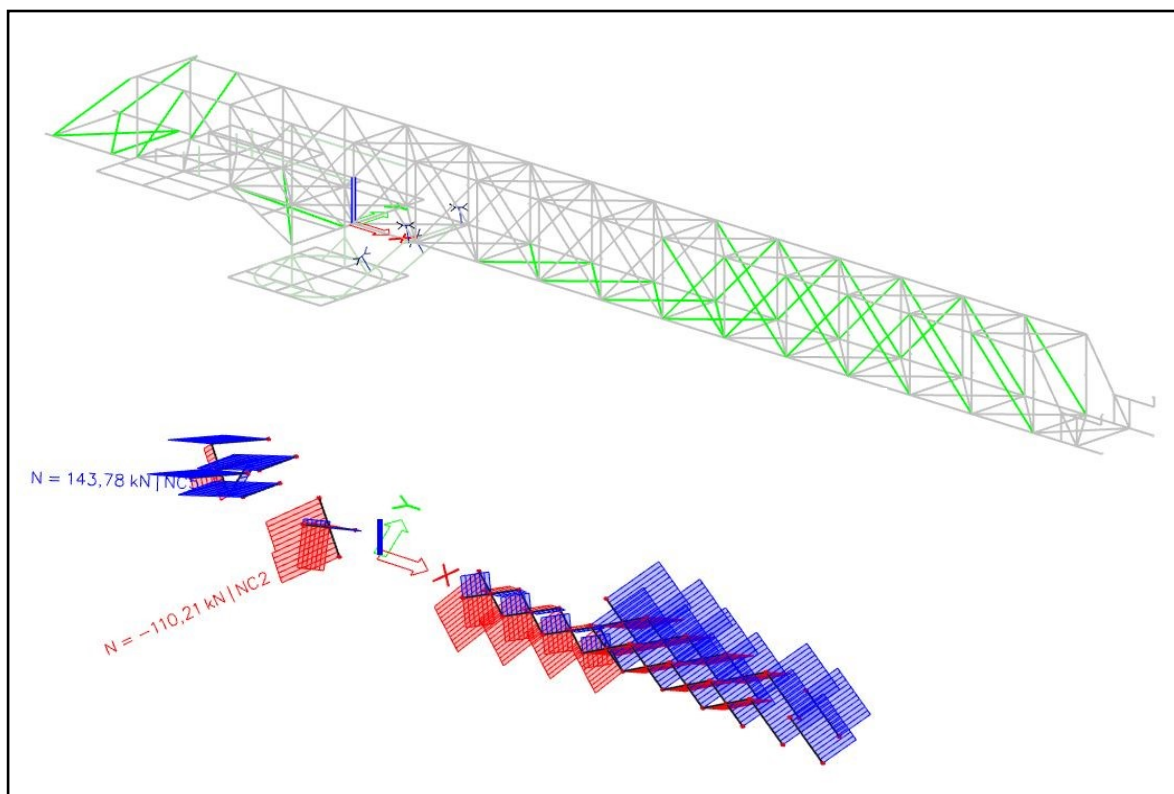
2.6.7 L100x10

Tab. 25: Průřezové charakteristiky L100x10

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$1,9200 \times 10^{-3}$	m ²	
I _y	$2,8000 \times 10^{-6}$	m ⁴	
I _z	$7,3300 \times 10^{-7}$	m ⁴	
W _{ply}	$6,2946 \times 10^{-5}$	m ³	
W _{plz}	$3,2343 \times 10^{-5}$	m ³	
I _t	$6,6700 \times 10^{-8}$	m ⁴	

Tab. 26: Vnitřní síly L100x10

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
N _{Ed} +	151,44 [kN]	NC9	±0°
N _{Ed} -	110,21 [kN]	NC2	-10°



Obr. 34: Vnitřní síly L100x10

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,92 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 681,60 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{151,44}{681,60} = 0,22 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = 2690 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1345 \text{ mm}$$

Ve směru osy z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6}}{2,69^2} = 802,00 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,920 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{802,00}} = 0,92$$

$\alpha = 0,34 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,34

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,92 - 0,2) + 0,92^2] = 1,05$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 0,92^2}} = 0,65$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,65 \cdot 1,920 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 441,06 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{110,21}{441,06} = 0,25 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Ve směru osy y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 7,33 \cdot 10^{-7}}{1,345^2} = 839,80 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,920 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{839,80}} = 0,90$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,90 - 0,2) + 0,90^2] = 1,08$$

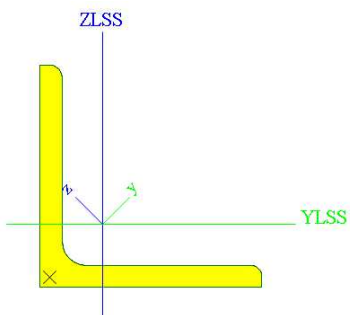
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 0,90^2}} = 0,60$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,60 \cdot 1,92 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 408,47 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{110,21}{408,47} = 0,27 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

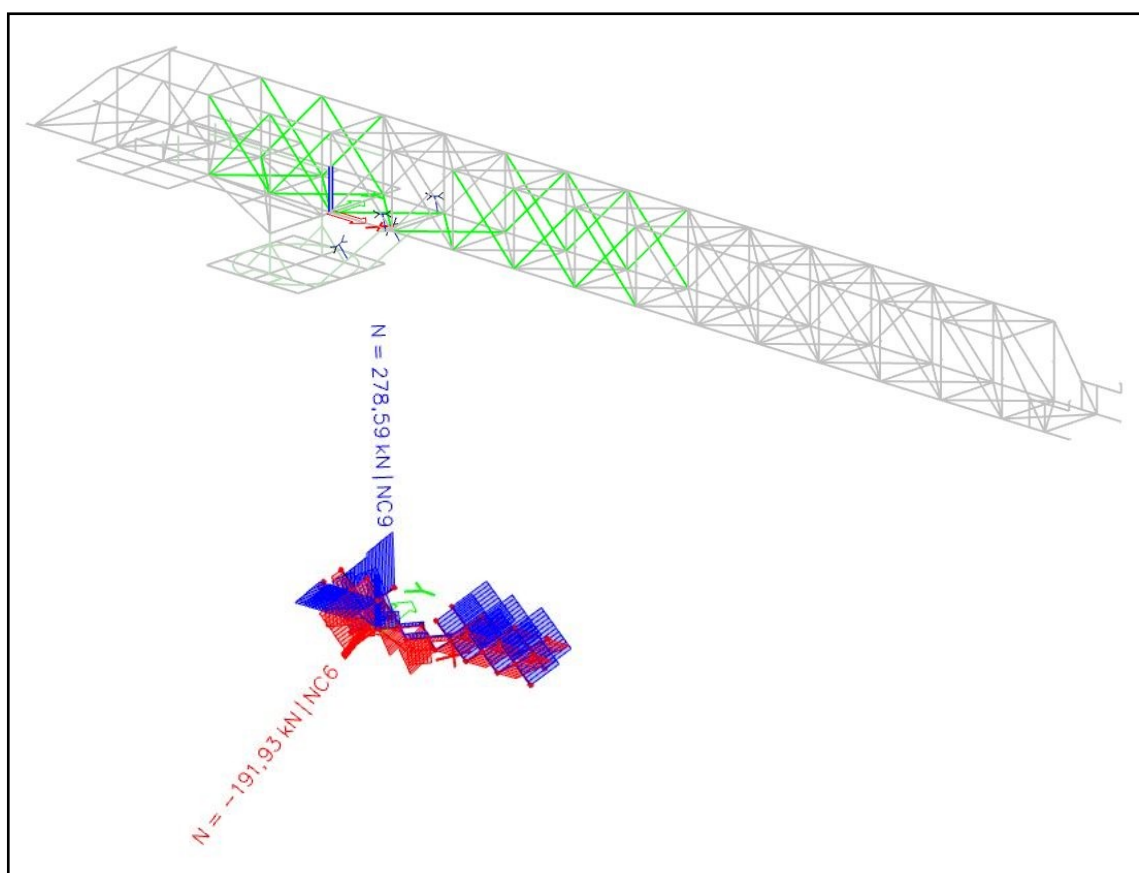
2.6.8 L120x12

Tab. 27: Průřezové charakteristiky L120x12

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$2,7500 \times 10^{-3}$	m^2	
I_y	$5,8400 \times 10^{-6}$	m^4	
I_z	$1,5200 \times 10^{-6}$	m^4	
W_{ply}	$1,0906 \times 10^{-4}$	m^3	
W_{plz}	$5,5861 \times 10^{-5}$	m^3	
I_t	$1,3800 \times 10^{-7}$	m^4	

Tab. 28: Vnitřní síly 120x12

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	278,59 [kN]	NC9	$\pm 0^\circ$
$N_{Ed} -$	-191,93 [kN]	NC6	$\pm 0^\circ$



Obr. 35: Vnitřní síly L120x12

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 976,25 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{278,59}{976,25} = 0,29 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = 2828 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1414 \text{ mm}$$

Ve směru osy z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,84 \cdot 10^{-6}}{2,828^2} = 1513,47 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1513,47}} = 0,80$$

$\alpha = 0,34 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,34

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,80 - 0,2) + 0,80^2] = 0,93$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,93 + \sqrt{0,93^2 - 0,80^2}} = 0,72$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,72 \cdot 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 705,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{191,93}{705,35} = 0,27 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Ve směru osy y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,52 \cdot 10^{-6}}{1,414^2} = 1575,66 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1575,66}} = 0,79$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,79 - 0,2) + 0,79^2] = 0,95$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,95 + \sqrt{0,95^2 - 0,79^2}} = 0,67$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,67 \cdot 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 654,32 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{191,93}{654,32} = 0,29 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

2.7 Posouzení nosných prvků mostu zakladače – MSP

HEA 120

Svislý průhyb

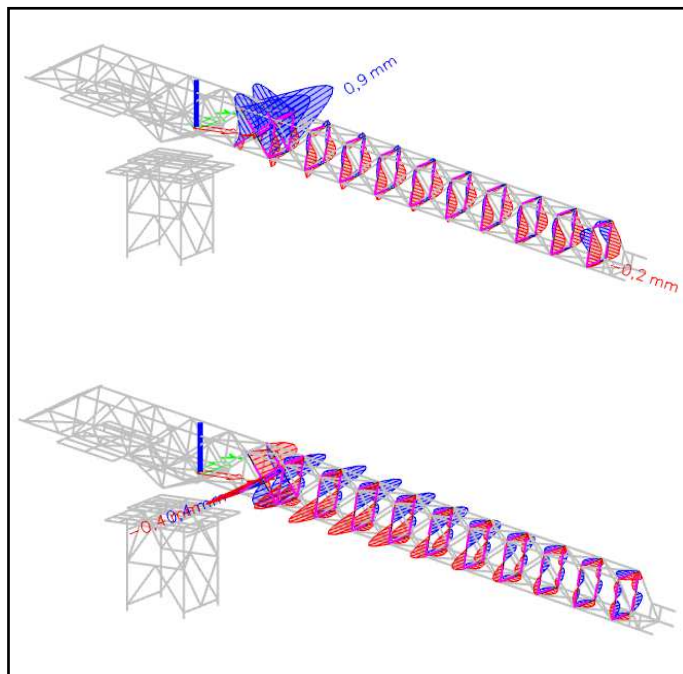
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1800}{250} = 7,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,9 \text{ mm} < \delta_{max} = 7,2 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1800}{250} = 7,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,4 \text{ mm} < \delta_{max} = 7,2 \text{ mm}$$



Obr. 36: HEA 120 průhyby

HEA 140

Svislý průhyb

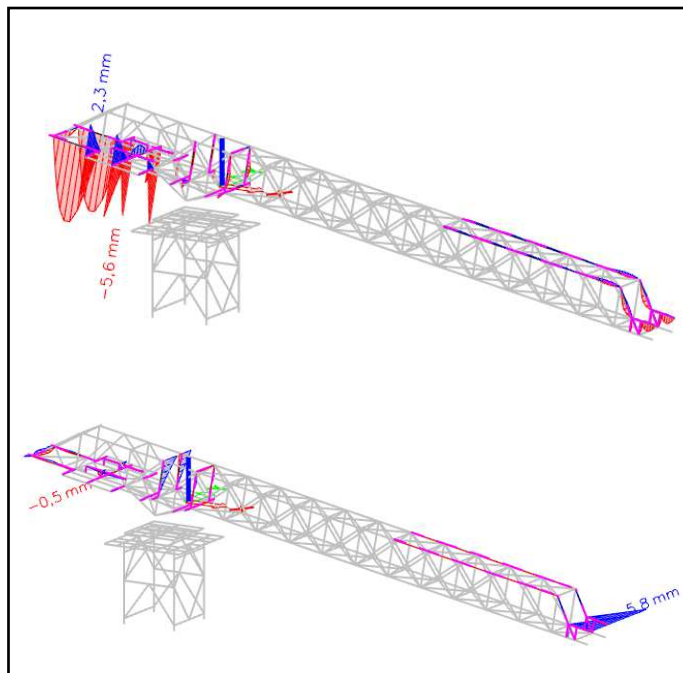
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2500}{250} = 10 \text{ mm}$$

$$\delta = 5,6 \text{ mm} < \delta_{max} = 10 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1500}{250} = 6 \text{ mm}$$

$$\delta = 5,8 \text{ mm} < \delta_{max} = 6 \text{ mm}$$



Obr. 37: HEA 140 průhyby

HEB 180

Svislý průhyb

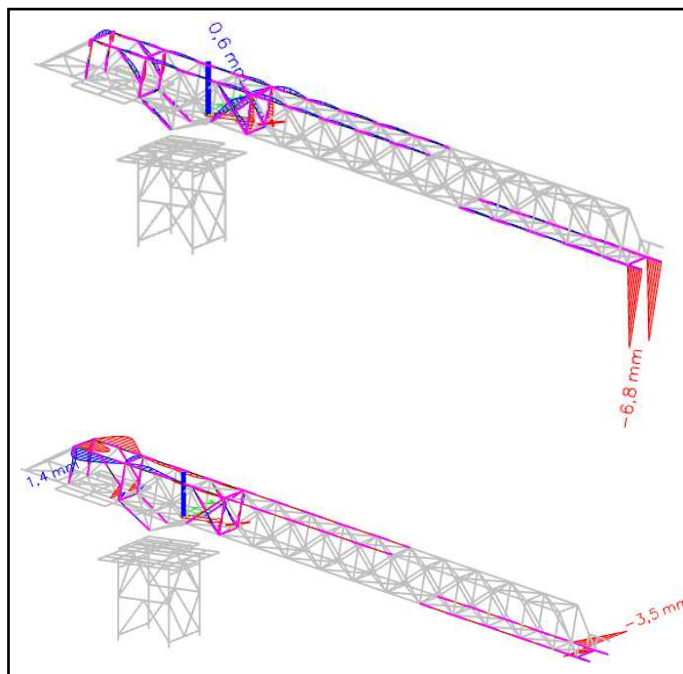
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1800}{250} = 7,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 6,8 \text{ mm} < \delta_{max} = 7,2 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1400}{250} = 5,6 \text{ mm}$$

$$\delta = 3,5 \text{ mm} < \delta_{max} = 5,6 \text{ mm}$$



Obr. 38: HEB 180 průhyby

HEB 280

Svislý průhyb

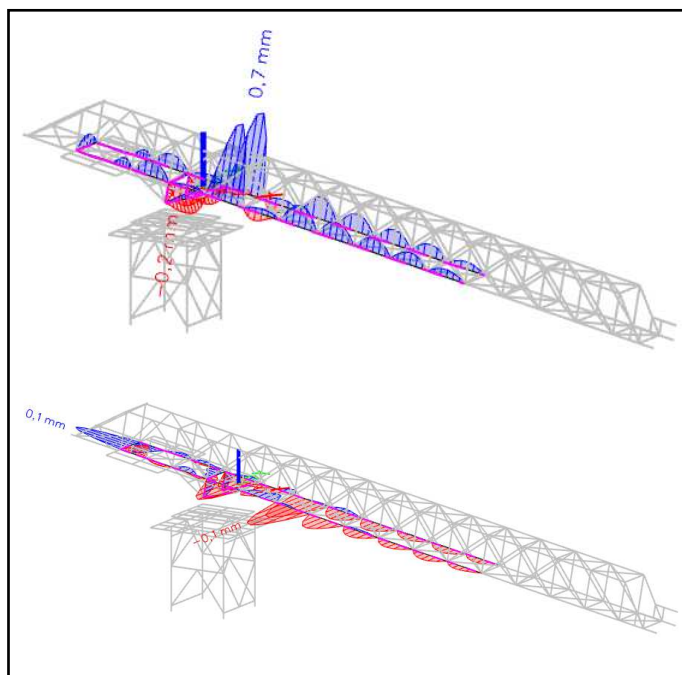
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2000}{250} = 8 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,7 \text{ mm} < \delta_{max} = 8 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2000}{250} = 8 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,1 \text{ mm} < \delta_{max} = 8 \text{ mm}$$



Obr. 39: HEB 280 průhyby

IPE 120

Svislý průhyb

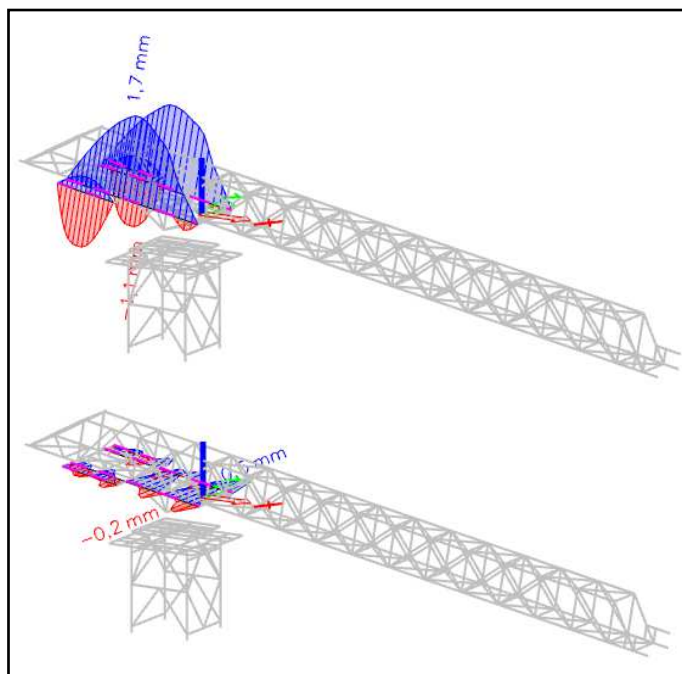
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{7000}{250} = 28 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,7 \text{ mm} < \delta_{max} = 28 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1500}{250} = 6 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,5 \text{ mm} < \delta_{max} = 6 \text{ mm}$$



Obr. 40: IPE 120 průhyby

L 80x8

Svislý průhyb

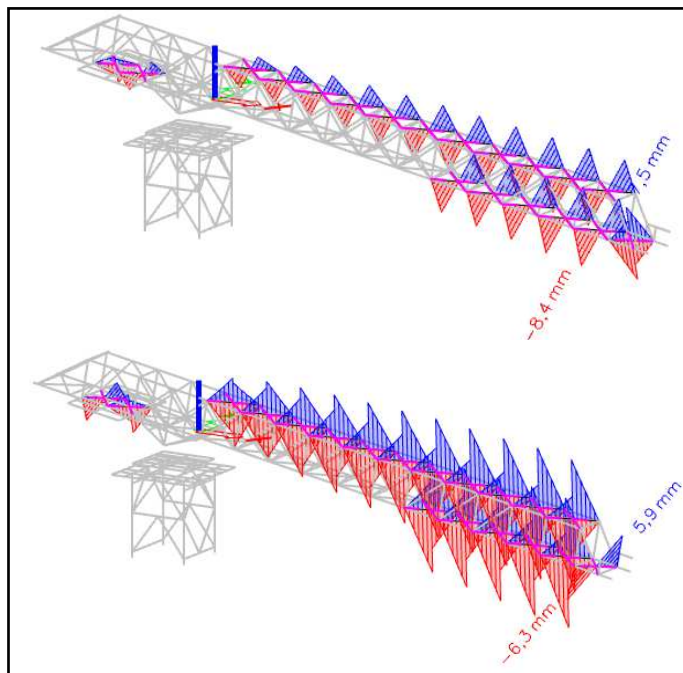
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2690}{250} = 10,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 8,4 \text{ mm} < \delta_{max} = 10,8 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2690}{250} = 10,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 6,3 \text{ mm} < \delta_{max} = 10,8 \text{ mm}$$



Obr. 41: L 80x8 průhyby

L100x10

Svislý průhyb

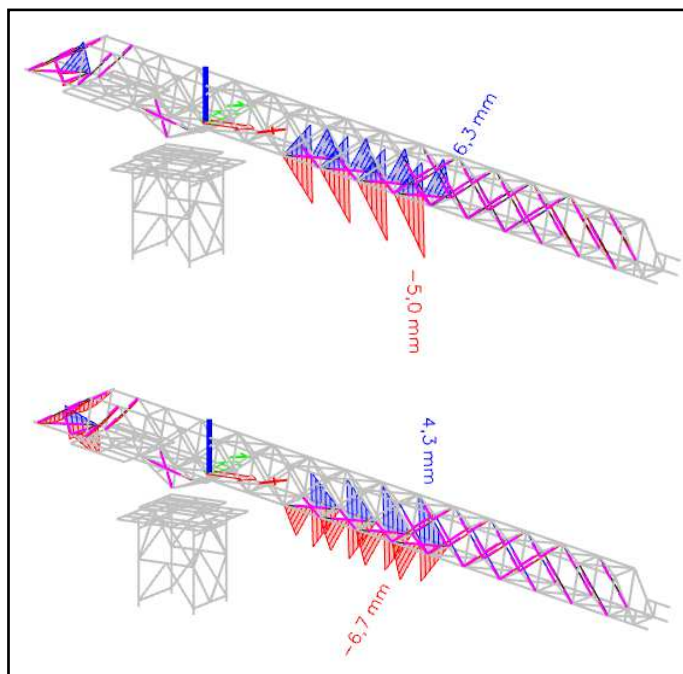
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2690}{250} = 10,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 6,3 \text{ mm} < \delta_{max} = 10,8 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2690}{250} = 10,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 6,7 \text{ mm} < \delta_{max} = 10,8 \text{ mm}$$



Obr. 42: L 100x10 průhyby

L120x12

Svislý průhyb

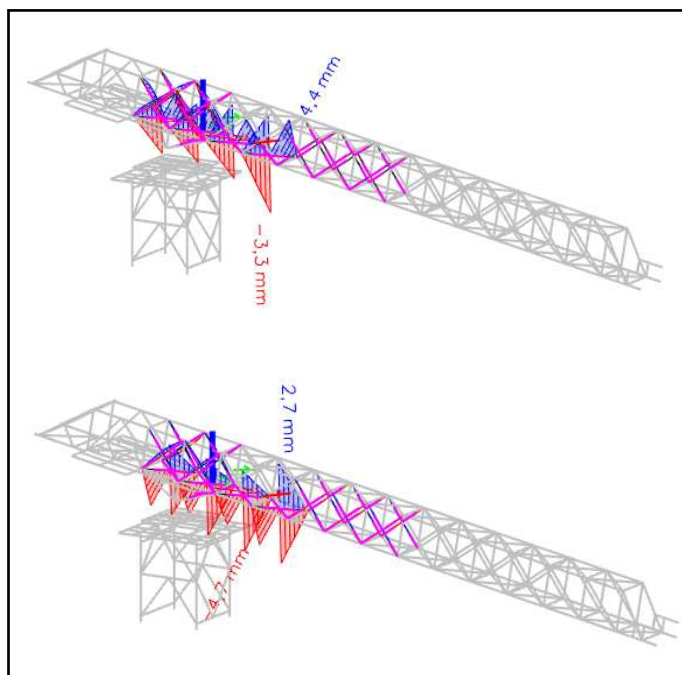
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2828}{250} = 11,3 \text{ mm}$$

$$\delta = 4,4 \text{ mm} < \delta_{max} = 10,8 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2828}{250} = 11,3 \text{ mm}$$

$$\delta = 4,7 \text{ mm} < \delta_{max} = 10,8 \text{ mm}$$



Obr. 43: L 120x12 průhyby

2.8 Využití průřezů mezních stavů

Tab. 29: Využití průřezu MSÚ

Využití průřezu v mezním stavu únosnosti		
Průřez	Využití	Rozhodující posudek
HEA 120	55%	Vzpěrná únosnost
HEA 140	76%	Komb. ohyb a tlak
HEB 180	55%	Komb. ohyb a tlak
HEB 280	40%	Komb. ohyb a tlak
IPE 120	25%	Vzpěrná únosnost
L 80x8	38%	Tah
L 100x10	27%	Vzpěrná únosnost
L 120x12	29%	Vzpěrná únosnost

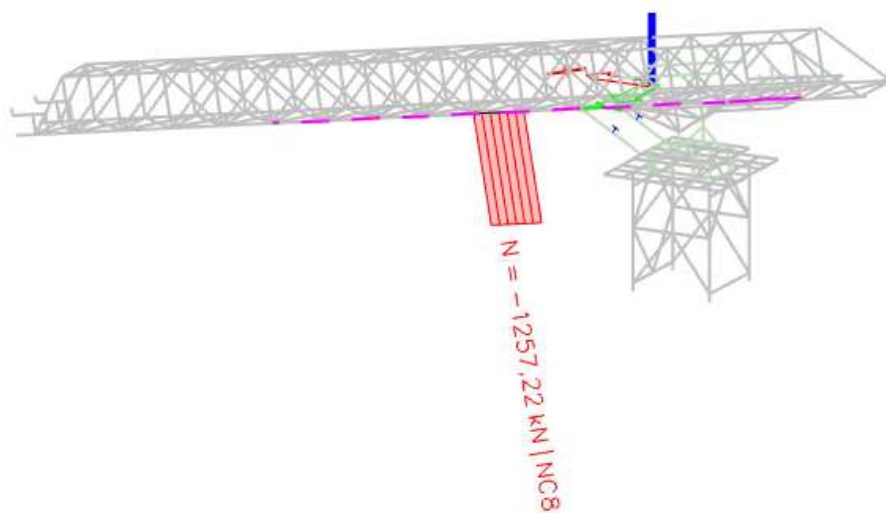
Tab. 30: Využití průřezu MSP

Využití průřezu v mezním stavu použitelnosti	
Průřez	Využití
HEA 120	13%
HEA 140	97%
HEB 180	94%
HEB 280	9%
IPE 120	6%
L 80x8	68%
L 100x10	62%
L 120x12	43%

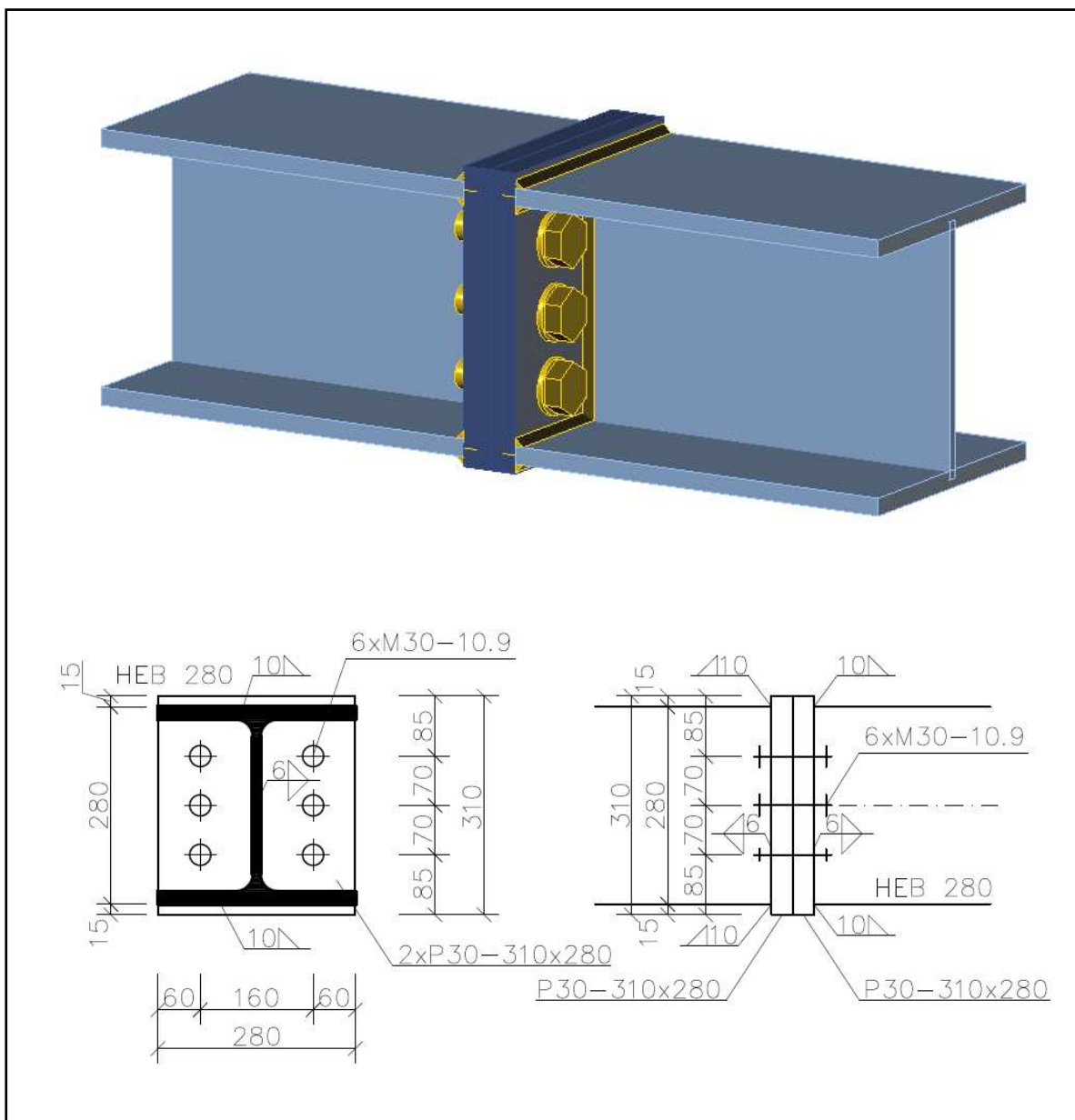
2.9 Posouzení vybraných detailů mostu zakladače

2.9.1 Montážní spoj spodního podélníku HEB 280

Montážní spoj je proveden uprostřed devátého pole zakladače. Odděluje spodní pás na segmenty po 8,5 a 12 metrech. Jelikož je spoj tlačný, je použit spoj na čelní desku (Obr.44).



Obr. 44: Normálová síla v montážním spoji HEB 280



Obr. 45: Šroubovaný montážní spoj podélného nosníku HEB 280

Návrhové síly

$$N_{Ed}^{+} = 115,30 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{-} = 1257,22 \text{ kN}$$

Návrh svaru stojiny a čelní desky

Účinná tloušťka svaru je navržena konzervativně na plnou únosnost.

$$a > 0,55 \cdot t_w = 0,55 \cdot 10,5 = 5,7 \text{ mm}$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

Návrh svaru pásnice a čelní desky

Účinná tloušťka svaru je navržena konzervativně na plnou únosnost.

$$a > 0,55 \cdot t_f = 0,55 \cdot 18 = 9,9 \text{ mm}$$

$$a = 10 \text{ mm}$$

Únosnost šroubu v tahu

$$F_{T,1,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 561 \cdot 1000}{1,25} = 403,92 \text{ kN}$$

Vliv páčení

$$t_e = 4,3 \cdot \left(\frac{b \cdot d^2}{a} \right)^{\frac{1}{3}} = 4,3 \cdot \left(\frac{60 \cdot 30^2}{60} \right)^{\frac{1}{3}} = 41,52 \text{ mm} > 30 \text{ mm}$$

Nutno posoudit na vliv páčení

1. Způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 346,25 \cdot 30^2 \cdot 355 / 1,0 = \\ = 27,66 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 27,66 \cdot 10^6}{60} = 1843,78 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 346,25 \cdot 30^2 \cdot 355 / 1,0 = \\ = 27,66 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

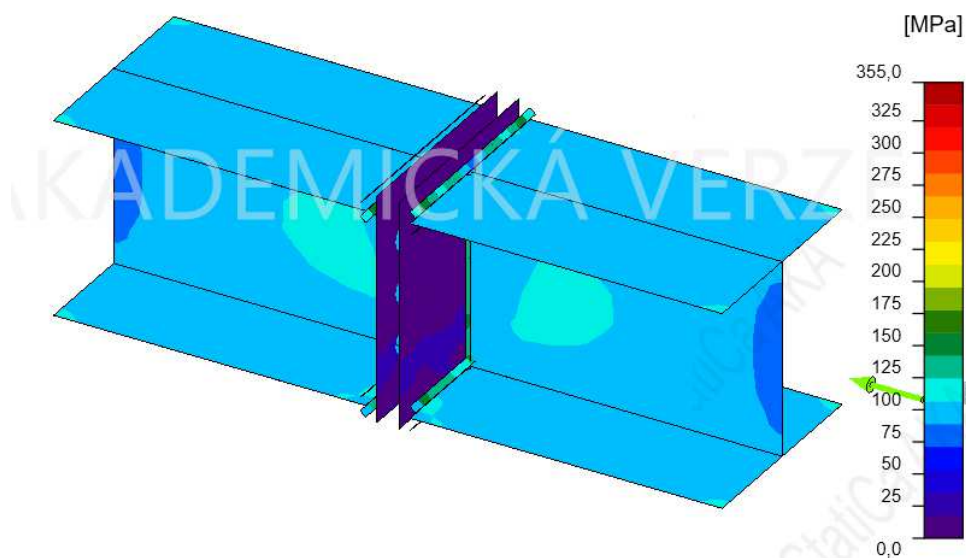
$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 27,66 \cdot 10^6 + 60 \cdot 807,84}{60 + 60} = 864,92 \text{ kN}$$

3. Způsob porušení

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 807,84 \text{ kN}$$

Rozhoduje 3. způsob porušení

$$F_{T,Rd} = 807,84 \text{ kN} > F_{T,Ed} = 115,30 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

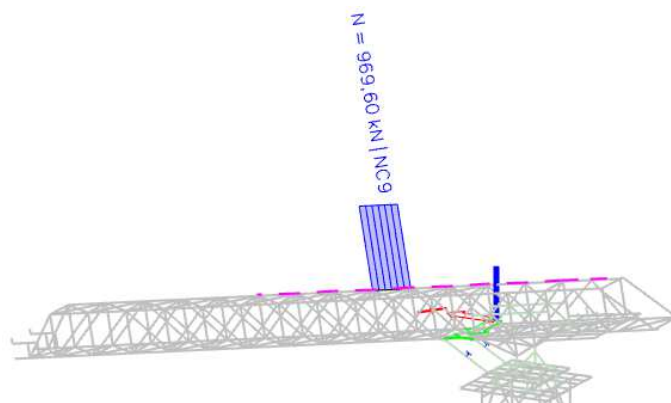


Obr. 46: Napětí v montážním spoji HEB 280

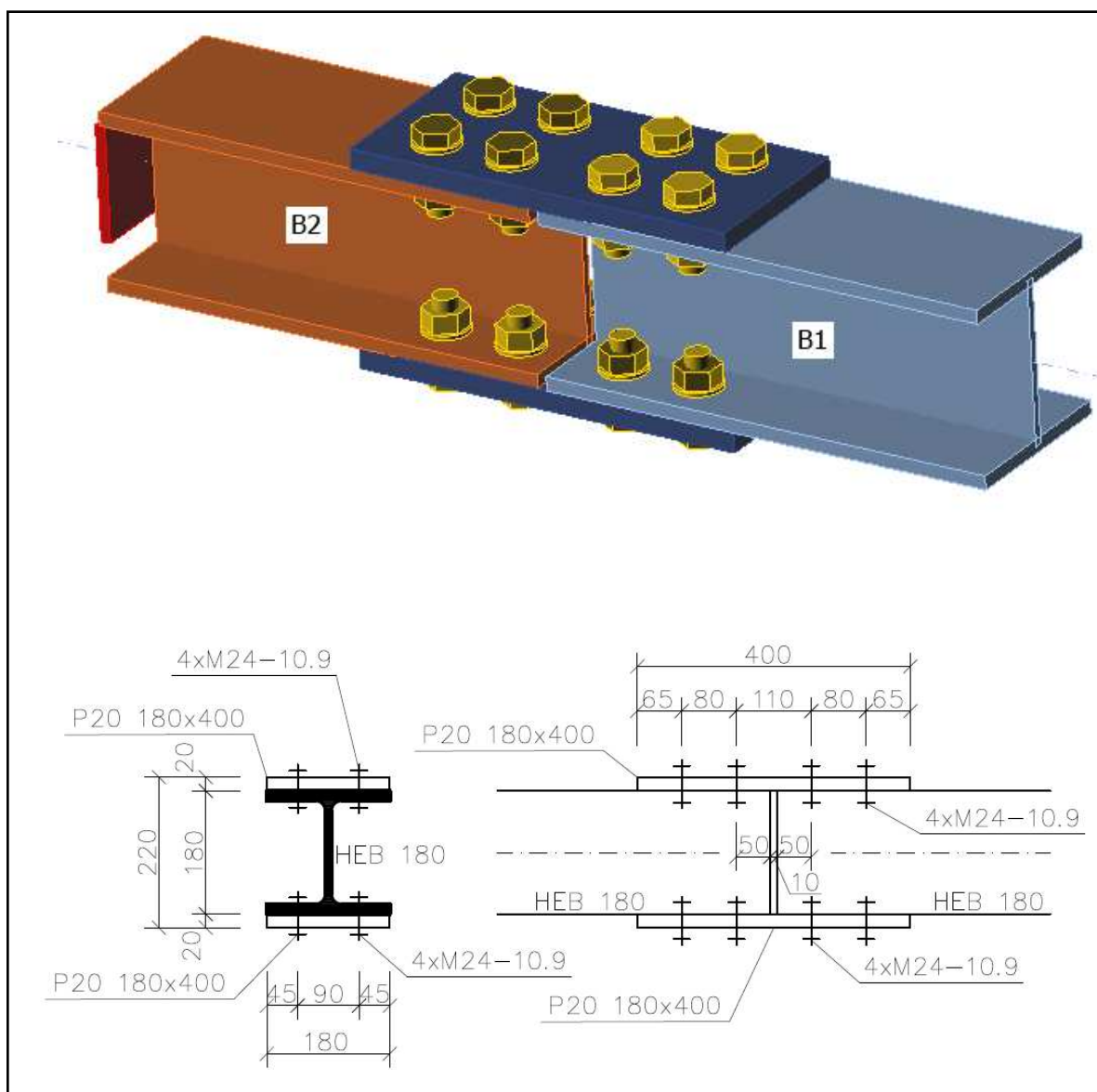
Montážní spoj je posouzen v programu Idea StatiCa. Výpis protokolu je k nahlédnutí v příloze D.

2.9.2 Montážní spoj horního pásu podélníku HEB 180

Montážní spoj je proveden uprostřed devátého pole zakladače. Odděluje horní pás na segmenty po 6,5 a 12 metrech. Jelikož je spoj výhradně tažený, je použit spoj s příložkami.



Obr. 47: Vnitřní síly v montážním spoji HEB 180



Obr. 48: Šroubovaný montážní spoj podélného nosníku HEB 180

Návrhové síly

$$N_{Ed}^+ = 969,60 \text{ kN}$$

Únosnost oslabeného průřezu

$$A_{net} = 6530 - 4 \cdot 14 \cdot 27 = 5018 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{5018 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 1842,61 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 1842,61 \text{ kN} > N_{Ed} = 969,60 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Únosnost oslabených příložek

$$A_{net} = 20 \cdot (180 - 2 \cdot 27) = 2520 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{2520 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 925,34 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 925,34 \text{ kN} > N_{Ed} = 374,18 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Únosnost ve střihu

Střihová síla na jeden šroub

$$F_{v,Ed,1} = \frac{F_{v,Ed}}{n} = \frac{969,6}{8} = 121,2 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$$

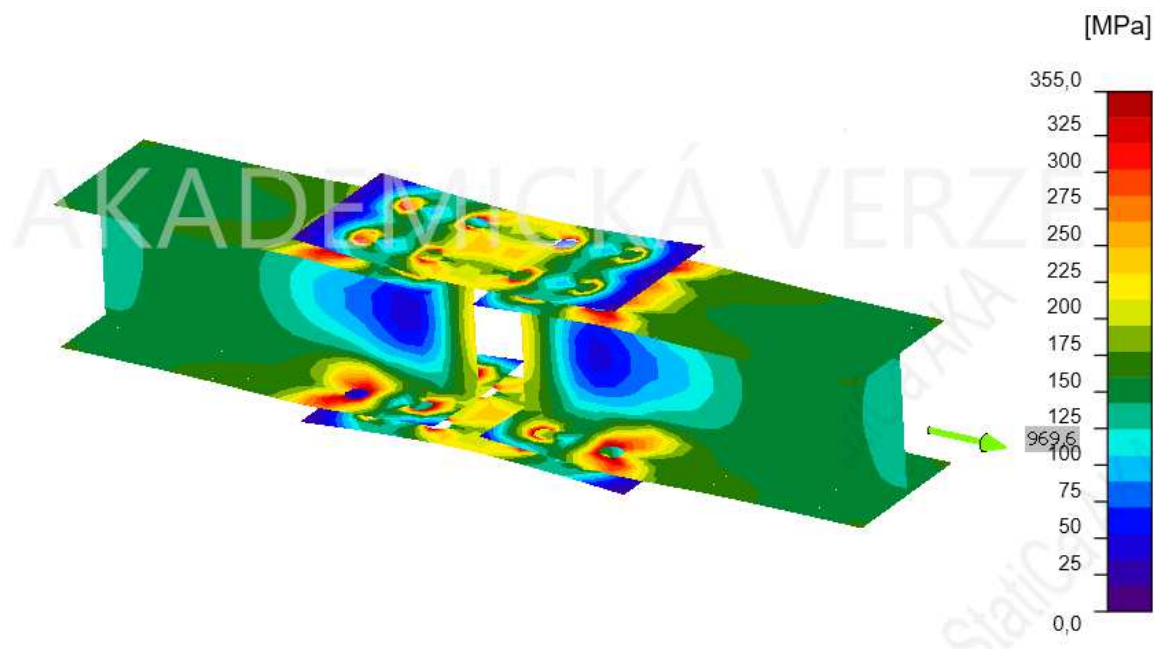
Únosnost v otláčení

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min(0,80; 0,99; 1,96; 1,0) = 0,8$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,97; 9,33; 2,5) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,8 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 14}{1,25} = 274,18 \text{ kN}$$

$$\min (F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 141,2 \text{ kN} > F_{v,Ed,1} = 121,2 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

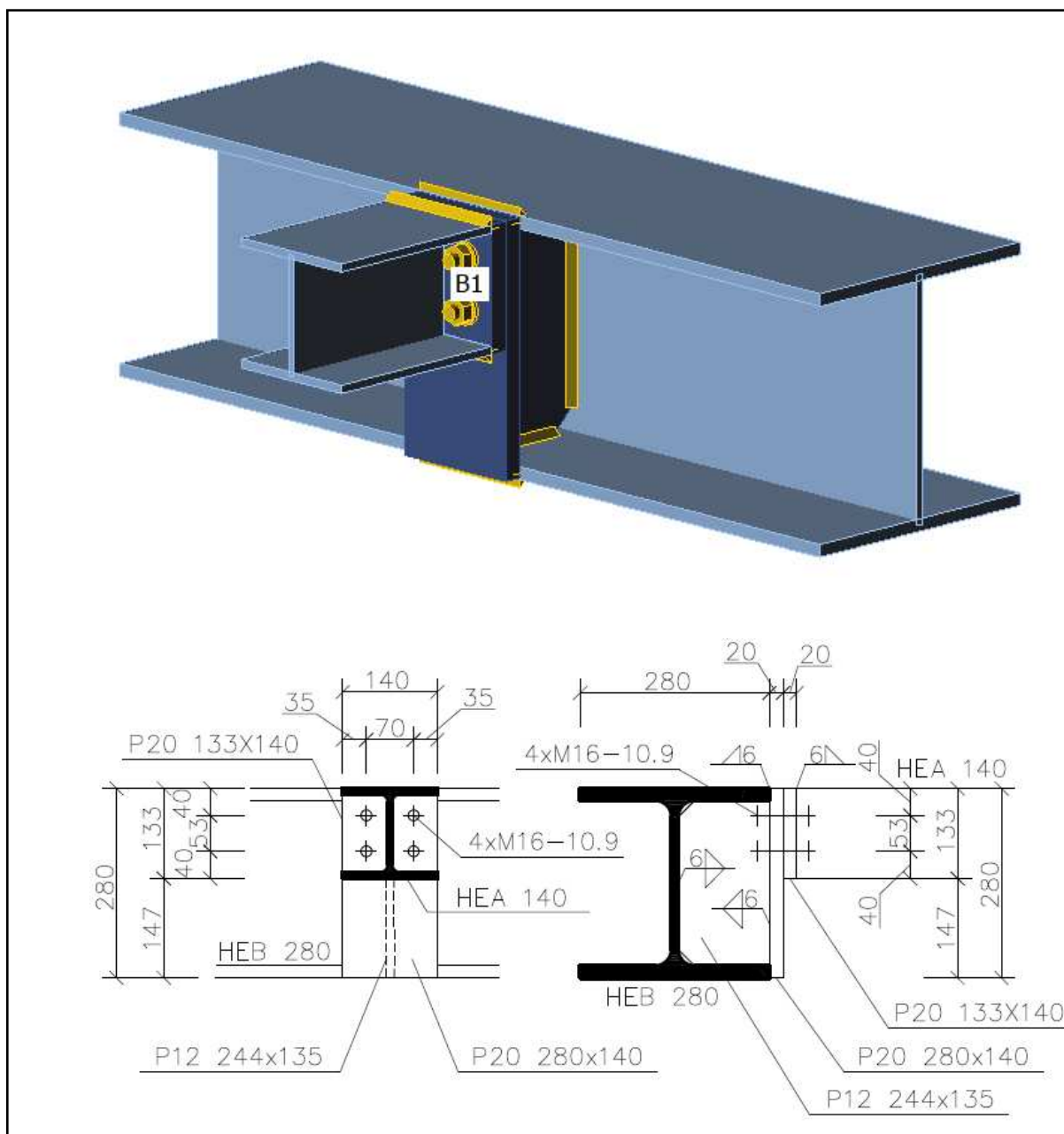


Obr. 49: Napětí v montážním spoji HEB 180

Montážní spoj je posouzen v programu Idea StatiCa. Výpis protokolu je k nahlédnutí v příloze D.

2.9.3 Připojení plošiny k mostu zakladače

Připojení plošiny k mostu zakladače je proveden pomocí čelní desky a odsazené čelní desky. Odsazená čelní deska je svařena s pásnicí podélníku a s žebrem, který je rovněž svařen s podélníkem.



Obr. 50: Spoj plošiny HEA 140 k podélníku HEB 280

Návrhové síly

$$V_{z,Ed} = 11,60 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 10,87 \text{ kN.m}$$

Únosnost dvojice šroubů

Stříhová síla na jeden šroub

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 157 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 62,80 \text{ kN}$$

Únosnost v otlačení

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min(0,74; 0,73; 1,96; 1,0) = 0,73$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,74; 5,44; 2,5) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,73 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 20}{1,25} = 238,27 \text{ kN}$$

$$\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 62,80 \text{ kN} > F_{v,Ed,1} = 10,87 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Únosnost v tahu

Předpoklad pružného rozdělení sil ve šroubech, tahovou sílu budou přenášet jen síly v horní řadě.

$$F_{t,Ed} = 49,30 \text{ kN}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 1000 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 113,04 \text{ kN}$$

$$F_{T,1,Rd} = 113,04 \text{ kN} > F_{t,Ed} = 49,30 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení v protlačení

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 25,85 \cdot 20 \cdot \frac{510}{\gamma_{M2}} = 397,61 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 397,61 \text{ kN} > F_{t,Ed} = 49,30 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Vliv páčení

$$t_e = 4,3 \cdot \left(\frac{b \cdot d^2}{a} \right)^{\frac{1}{3}} = 4,3 \cdot \left(\frac{35 \cdot 16^2}{35} \right)^{\frac{1}{3}} = 27,3 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$$

Uvažuje se vliv páčení.

1. Způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 219,91 \cdot 20^2 \cdot 355 / 1,0 = 7,81 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 7,81 \cdot 10^6}{35} = 892,21 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 219,91 \cdot 20^2 \cdot 355 / 1,0 = 7,81 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

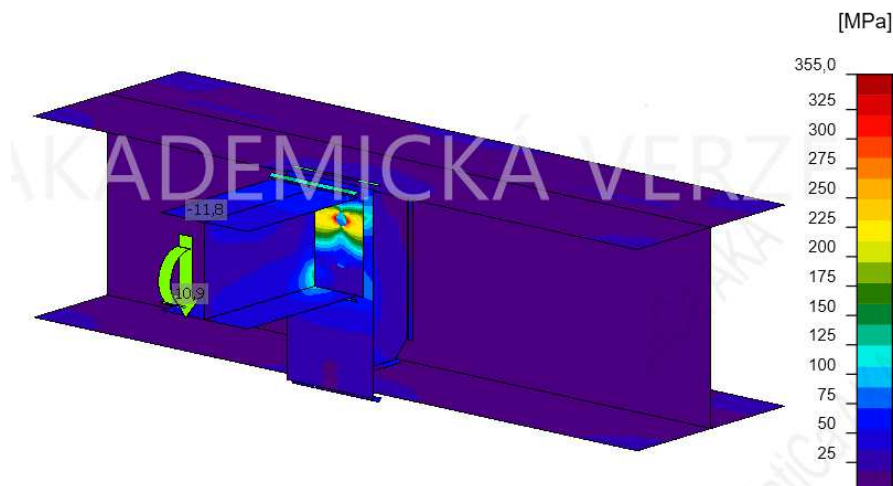
$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 7,81 \cdot 10^6 + 35 \cdot 113,04}{35 + 35} = 223,20 \text{ kN}$$

3. Způsob porušení

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 113,04 \text{ kN}$$

Rozhoduje 3. způsob porušení

$$F_{T,Rd} = 113,04 \text{ kN} > F_{t,Ed} = 49,30 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

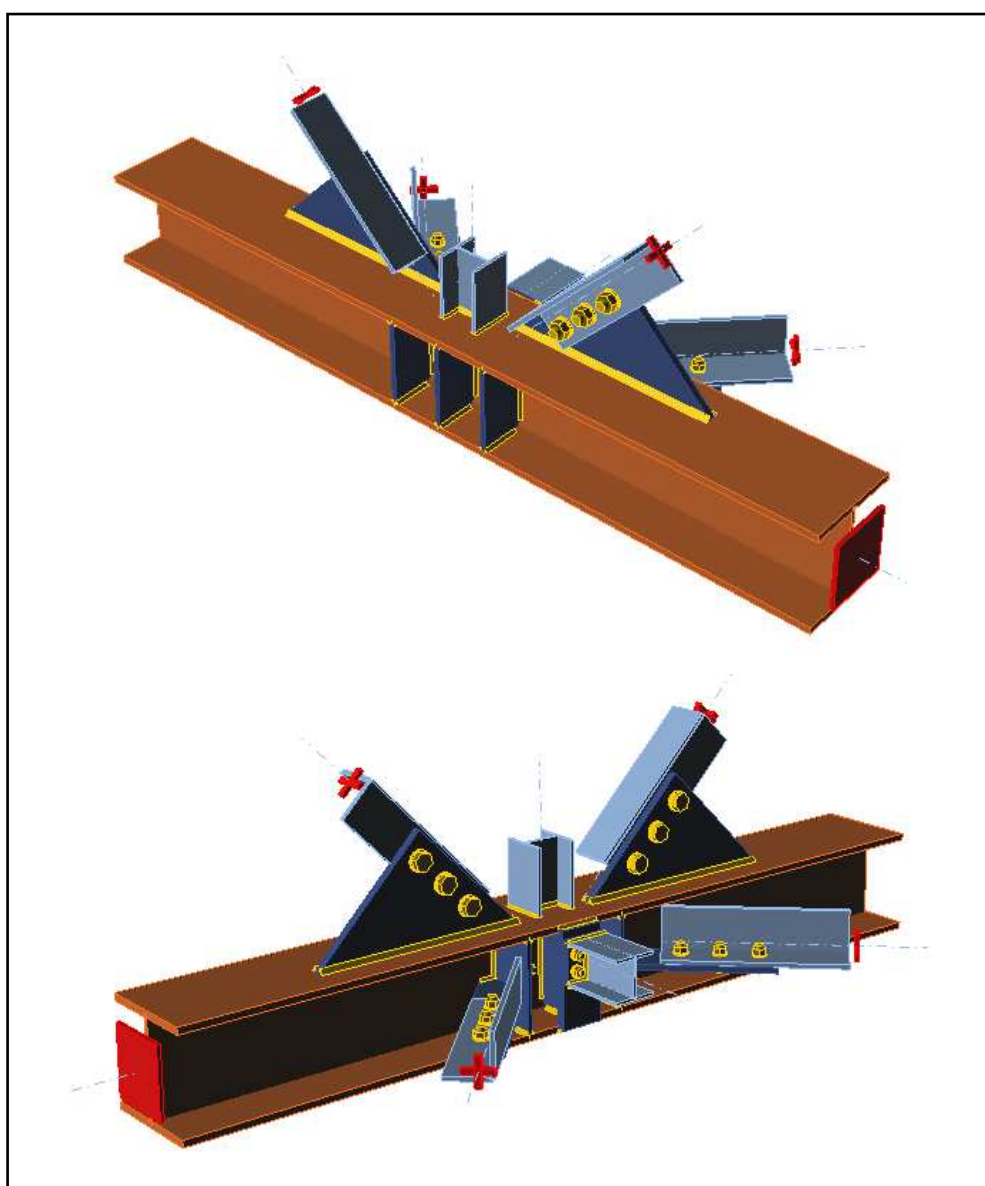


Obr. 51: Napětí ve spoji plošiny HEA 140 s podélníkem HEB 280

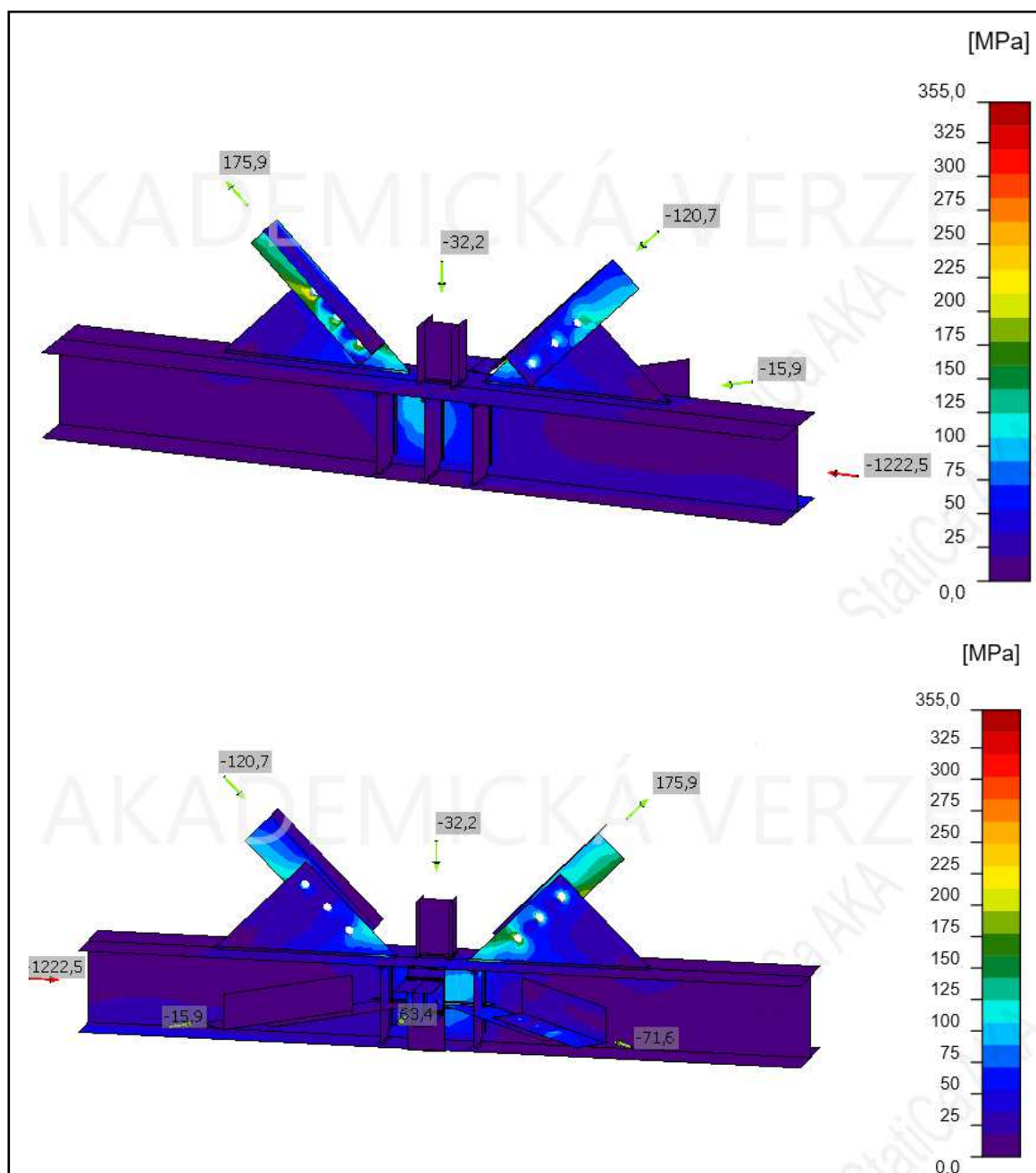
Spoj je posouzen v programu Idea StatiCa. Výpis protokolu je k nahlédnutí v příloze D.

2.9.4 Klasický styčník mostu zakladače

Jedná se o klasický spoj podélníku s příčnickem a se spodními a bočními ztužidly. Z vnější strany podélníku jsou provedeny tři výztuhy v místech, kde se soustředí lokální síly. Spoj je jako komplexní celek posouzen v programu Idea StatiCa. Výpis protokolu je k nahlédnutí v příloze D.

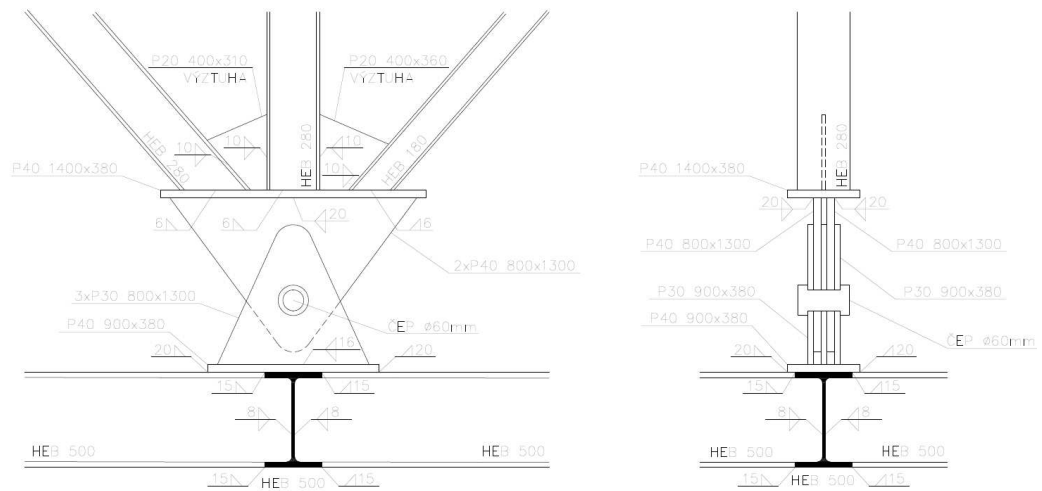


Obr. 52: Spoj klasického styčníku mostu zakladače



Obr. 53: Napětí v klasickém styčniku mostu zakladače

2.9.5 Čepový spoj



Obr. 54: Čepový spoj

S355

$$f_{y,p} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{u,p} = 510 \text{ MPa}$$

$$d = 110 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 110^2}{4} = 9503,32 \text{ mm}^2$$

$$F_{Ed,t} = 1043,01 \text{ kN} - (\text{komb. NC1 poloha} - 10^\circ)$$

$$F_{Ed,c} = 811,69 \text{ kN} - (\text{komb. NC1 poloha} - 15^\circ)$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed,t} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1043,01 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^{-3}}} = 0,038 \text{ m}$$

Byla navržena tloušťka plechu 40 mm.

Posouzení čepu ve střihu

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{u,p}}{\gamma_{M2}} = 4 \cdot \frac{0,6 \cdot 9503,32 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 9305,65 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed} = \sqrt{F_c^2 + V^2} = \sqrt{1043,01^2 + 165,83^2} = 1056,11 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{1056,11}{9305,65} = 0,11 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 110 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{1,00} = 2343,00 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{1056,11}{2343,00} = 0,45 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení čepu v ohybu

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 110^3}{32} = 130670 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 130670 \cdot 355 \cdot 10^{-6}}{1,00} = 69,58 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{1056,11}{8} \cdot (2 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,002 + 3 \cdot 0,03) = 23,50 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{23,50}{69,58} = 0,34 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

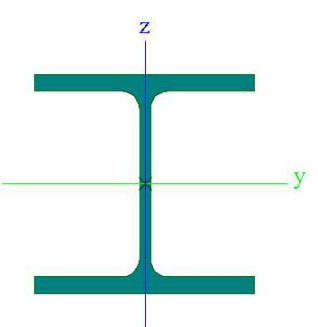
Posouzení čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}}\right)^2 = 0,45^2 + 0,34^2 = 0,32 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

2.10 Posouzení nosných prvků podpůrné věže zakladače

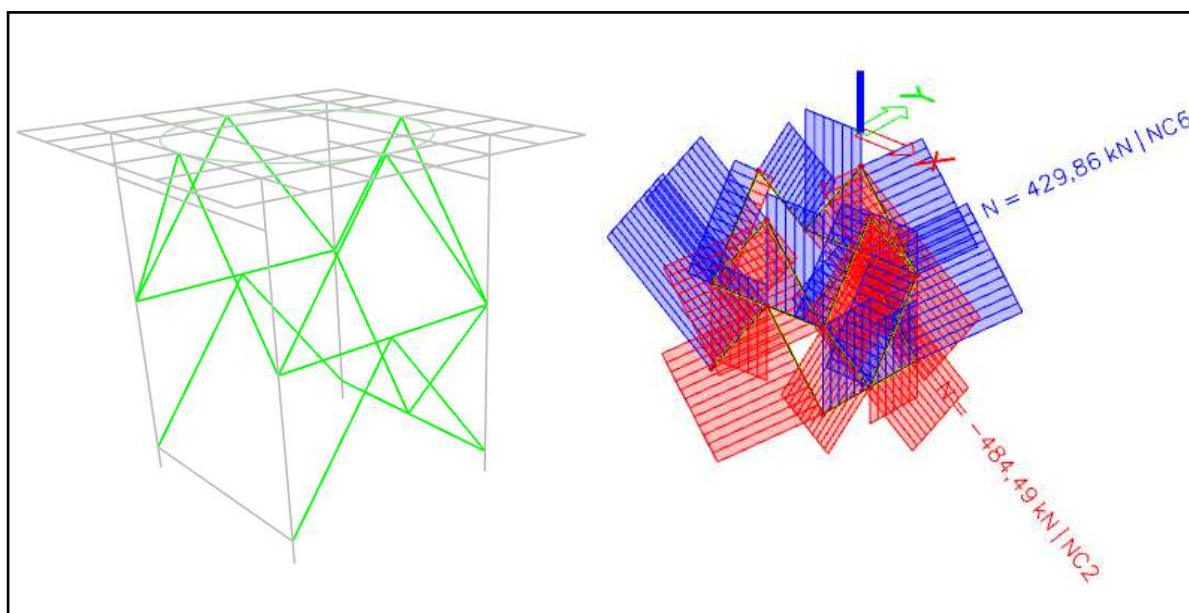
2.10.1 HEB 180

Tab. 31: Průřezové charakteristiky HEB 180

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$6,5250 \times 10^{-3}$	m^2	
I_y	$3,8310 \times 10^{-5}$	m^4	
I_z	$1,3630 \times 10^{-5}$	m^4	
W_{ply}	$4,8140 \times 10^{-4}$	m^3	
W_{plz}	$2,3100 \times 10^{-4}$	m^3	
I_t	$4,2160 \times 10^{-7}$	m^4	

Tab. 32: Vnitřní síly HEB 180

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	429,86 [kN]	NC6	-10°
$N_{Ed} -$	-504,65 [kN]	NC3	+15°



Obr. 55: Vnitřní síly HEB 180

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 2316,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{429,86}{2316,38} = 0,19 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2500 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,363 \cdot 10^{-5}}{2,5^2} = 4519,96 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{4519,96}} = 0,72$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,72 - 0,2) + 0,72^2 \right] = 0,88$$

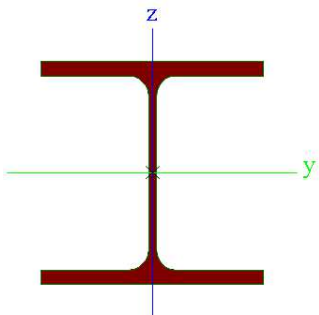
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,88 + \sqrt{0,88^2 - 0,72^2}} = 0,71$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,71 \cdot 6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1655,83 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{504,65}{1655,83} = 0,30 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

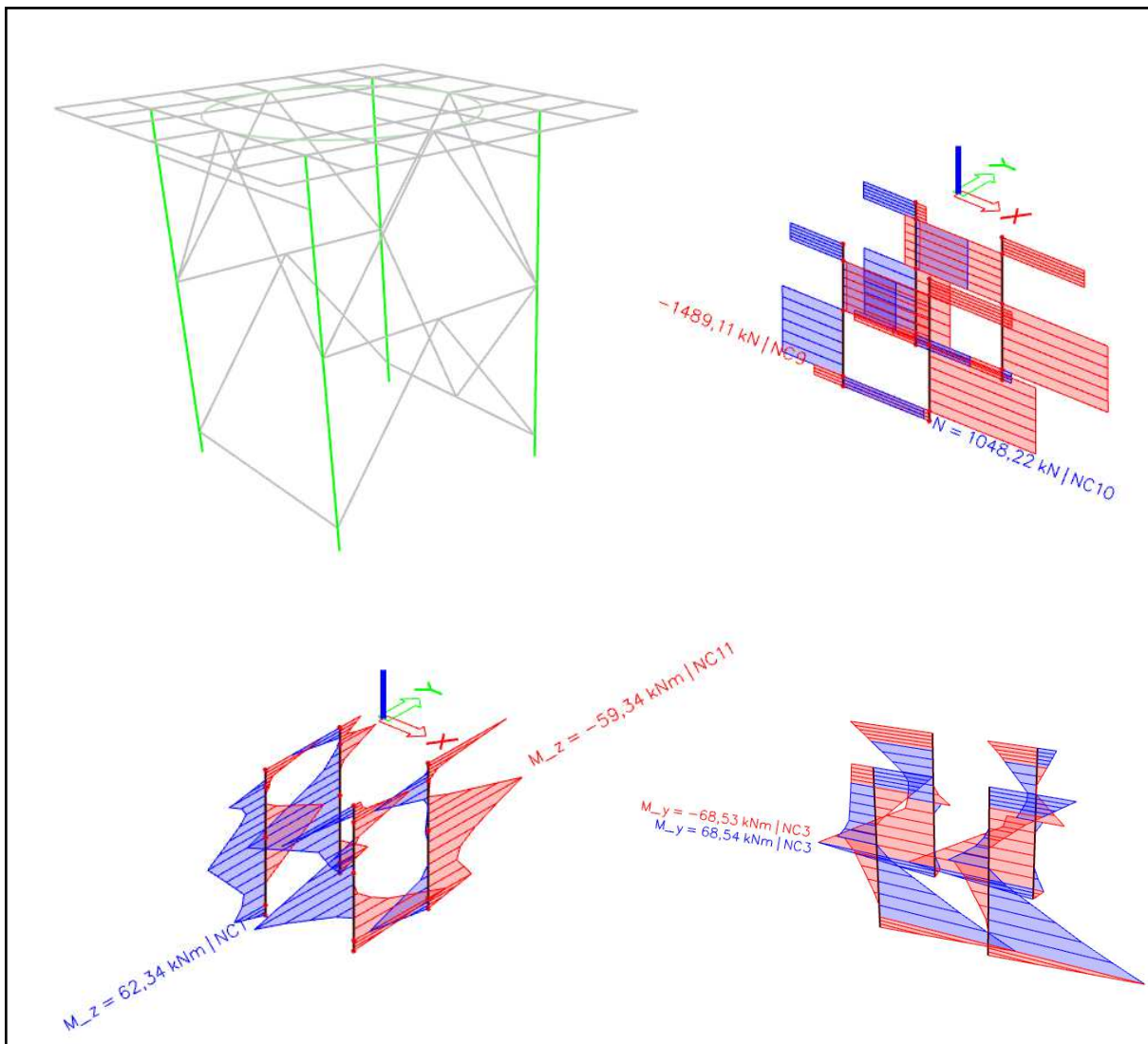
2.10.2 HEB 300

Tab. 33: Průřezové charakteristiky HEB 300

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$1,4910 \times 10^{-2}$	m^2	
I_y	$2,5170 \times 10^{-4}$	m^4	
I_z	$8,5630 \times 10^{-5}$	m^4	
W_{ply}	$1,8690 \times 10^{-3}$	m^3	
W_{plz}	$8,7010 \times 10^{-4}$	m^3	
I_t	$1,8500 \times 10^{-6}$	m^4	

Tab. 34: Vnitřní síly HEB 300

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	1048,22 [kN]	NC10	-10°
$N_{Ed} -$	1489,11 [kN]	NC9	-10°
$V_{Ed,y}$	194,15 [kN]	NC10	-10°
$V_{Ed,z}$	-225,26 [kN]	NC3	-10°
$M_{Ed,y}$	68,54 [kN.m]	NC3	$\pm 0^\circ$
$M_{Ed,z}$	62,34 [kN.m]	NC10	-10°



Obr. 56: Vnitřní síly HEB 300

Zatřídění průřezu

Ohýbaná část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{300 - 2 \cdot 19 - 2 \cdot 27}{11} = 18,9 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{300 - 2 \cdot 19 - 2 \cdot 27}{11} = 18,9 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{150 - 5,5 - 27}{19} = 6,2 < 9\varepsilon = 7,3 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Průřez je zařazen do třídy 2.

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,491 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 5293,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1489,11}{5293,05} = 0,20 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,869 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 663,50 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{68,54}{663,50} = 0,10 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,701 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 308,89 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{62,34}{308,89} = 0,20 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 1,491 \cdot 10^4 - 2 \cdot 300 \cdot 19 + (11 + 2 \cdot 27) \cdot 19 \\ &= 4,745 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4,745 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 972,53 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{225,26}{972,53} = 0,23 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2000 \text{ mm}$$

Ve směru osy z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 8,563 \cdot 10^{-5}}{0,9^2} = 28396,51 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,491 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{28396,51}} = 0,43$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,43 - 0,2) + 0,43^2] = 0,65$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,43^2}} = 0,88$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,88 \cdot 1,491 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 4660,01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1489,11}{4660,01} = 0,32 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci smyku, ohybu a osově síly

Smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti. Z tohoto důvodu je možné zanedbat tento účinek na únosnost průřezu v této kombinaci. Pro výpočet je nutno stanovit návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1489,11}{5293,05} = 0,28$$

$$\alpha = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{14,91 \cdot 10^3 - 2 \cdot 300 \cdot 19}{14,91 \cdot 10^3} = 0,24$$

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n)}{(1 - 0,5 \cdot \alpha)} = \frac{663,50 \cdot (1 - 0,28)}{(1 - 0,5 \cdot 0,24)} = 542,86 \text{ kN.m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right) \right] = 308,89 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,28-0,24}{1-0,24} \right)^2 \right] = 308,03 \text{ kN.m}$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{68,54}{542,86} \right]^2 + \left[\frac{62,34}{308,03} \right]^{1,4} = 0,12 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku

$$C_{m,z} = 0,79$$

$$C_{m,y} = 0,79$$

$$C_{m,LT} = 1,00$$

$$k_{yy} = 0,74$$

$$k_{yz} = 0,43$$

$$k_{zz} = 0,62$$

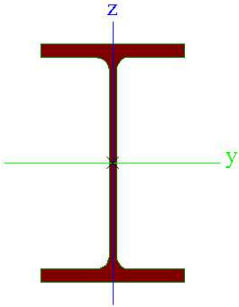
$$k_{zy} = 0,38$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} &= \\ &= \frac{1489,11}{1,00 \cdot 5293,05} + 0,74 \cdot \frac{39,27}{1,0 \cdot 663,50} + 0,43 \cdot \frac{54,39}{308,89} = 0,40 < 1 \\ &\Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} &= \\ &= \frac{1489,11}{1,00 \cdot 5293,05} + 0,38 \cdot \frac{39,27}{1,0 \cdot 663,50} + 0,62 \cdot \frac{54,39}{308,89} = 0,41 < 1 \\ &\Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

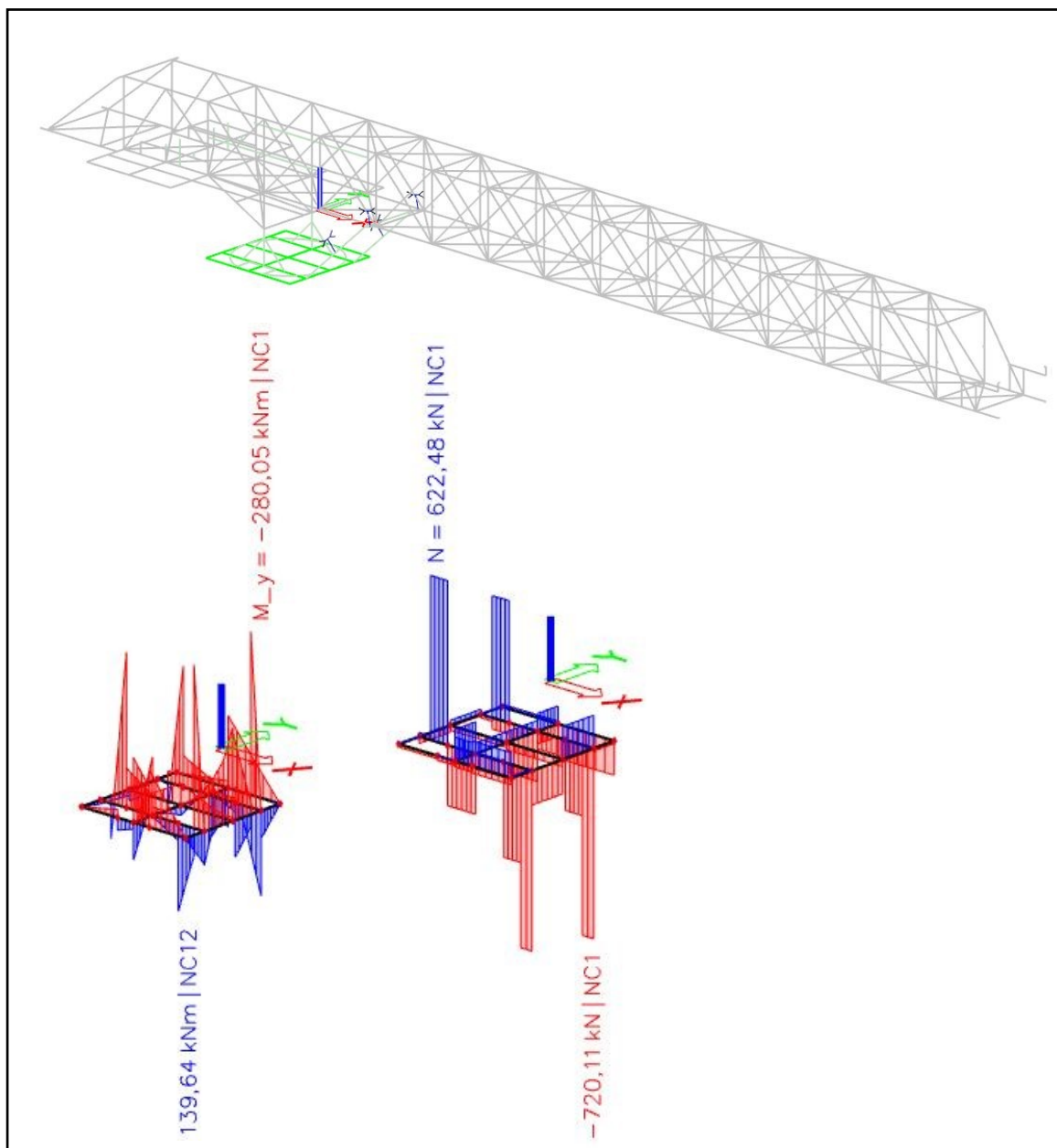
2.10.3 HEB 500 – horní rošt

Tab. 35: Průřezové charakteristiky HEB 500

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$2,3860 \times 10^{-2}$	m^2	
I_y	$1,0720 \times 10^{-3}$	m^4	
I_z	$1,2620 \times 10^{-4}$	m^4	
W_{ply}	$4,8150 \times 10^{-3}$	m^3	
W_{plz}	$1,2920 \times 10^{-3}$	m^3	
I_t	$5,3840 \times 10^{-6}$	m^4	

Tab. 36: Vnitřní síly HEB 500

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	854,15 [kN]	NC1	-10°
$N_{Ed} -$	1616,95 [kN]	NC1	-10°
$V_{Ed,y}$	136,68 [kN]	NC7	+15°
$V_{Ed,z}$	933,97 [kN]	NC1	+15°
$M_{Ed,y}$	-378,34 [kN.m]	NC1	-10°
$M_{Ed,z}$	69,49 [kN.m]	NC4	+15°



Obr. 57: Vnitřní síly HEB 500 – horní rošt

Zatřídění průřezu

Ohýbaná část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{500 - 2 \cdot 28 - 2 \cdot 27}{14,5} = 26,9 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{500 - 2 \cdot 28 - 2 \cdot 27}{14,5} = 26,9 < 38\varepsilon = 30,78 \Rightarrow \text{tř.průřezu 2}$$

pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{150 - 7,25 - 27}{28} = 4,13 < 9\varepsilon = 7,3 \Rightarrow \text{tř.průřezu 1}$$

Průřez je zařazen do třídy 2.

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,386 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 8470,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{854,15}{8470,3} = 0,10 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,815 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1709,33 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{378,34}{1709,33} = 0,22 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,292 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 458,66 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{69,49}{458,66} = 0,15 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 2,386 \cdot 10^4 - 2 \cdot 300 \cdot 28 + (14,5 + 2 \cdot 27) \cdot 28 \\ &= 8,978 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{MO}} = \frac{8,978 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 1840,12 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{933,97}{1840,12} = 0,51 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = 3000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 900 \text{ mm}$$

Ve směru osy z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,072 \cdot 10^{-3}}{3,0^2} = 246871,7 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,386 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{246871,7}} = 0,19$$

$\alpha = 0,34 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,34

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,19 - 0,2) + 0,19^2] = 0,52$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,52 + \sqrt{0,19^2 - 0,52^2}} = 1,00$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1,00 \cdot 2,386 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 8487,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1616,95}{8487,70} = 0,19 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Ve směru osy y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,262 \cdot 10^{-4}}{0,9^2} = 322918,8 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,386 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{322918,8}} = 0,16$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka
vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,16 - 0,2) + 0,16^2] = 0,50$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,50 + \sqrt{0,16^2 - 0,50^2}} = 1,00$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1,00 \cdot 2,386 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 8487,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1616,95}{8487,70} = 0,19 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci smyku, ohybu a osově síly

Smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti. Z tohoto důvodu je možné zanedbat tento účinek na únosnost průřezu v této kombinaci. Pro výpočet je nutno stanovit návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1616,95}{8470,30} = 0,19$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{23,86 \cdot 10^3 - 2 \cdot 300 \cdot 28}{23,86 \cdot 10^3} = 0,30$$

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n)}{(1 - 0,5 \cdot a)} = \frac{1709,33 \cdot (1 - 0,19)}{(1 - 0,5 \cdot 0,30)} = 1628,89 \text{ kN.m}$$

$$n < a \Rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{378,34}{1628,89} \right]^2 + \left[\frac{61,79}{458,66} \right]^1 = 0,19 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku

$$C_{m,z} = 0,99$$

$$C_{m,y} = 1,00$$

$$C_{m,LT} = 1,01$$

$$k_{yy} = 0,98$$

$$k_{yz} = 0,59$$

$$k_{zz} = 0,90$$

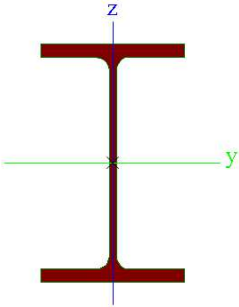
$$k_{zy} = 0,51$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} = \\ = \frac{1616,95}{\frac{1,00 \cdot 8470,30}{1,0}} + 0,98 \cdot \frac{228,89}{\frac{1,0 \cdot 1709,33}{1,0}} + 0,56 \cdot \frac{25,10}{\frac{458,66}{1,0}} = 0,35 < 1 \\ \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} = \\ = \frac{1616,95}{\frac{1,00 \cdot 8470,30}{1,0}} + 0,51 \cdot \frac{228,89}{\frac{1,0 \cdot 1709,33}{1,0}} + 0,86 \cdot \frac{25,10}{\frac{458,66}{1,0}} = 0,31 < 1 \\ \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

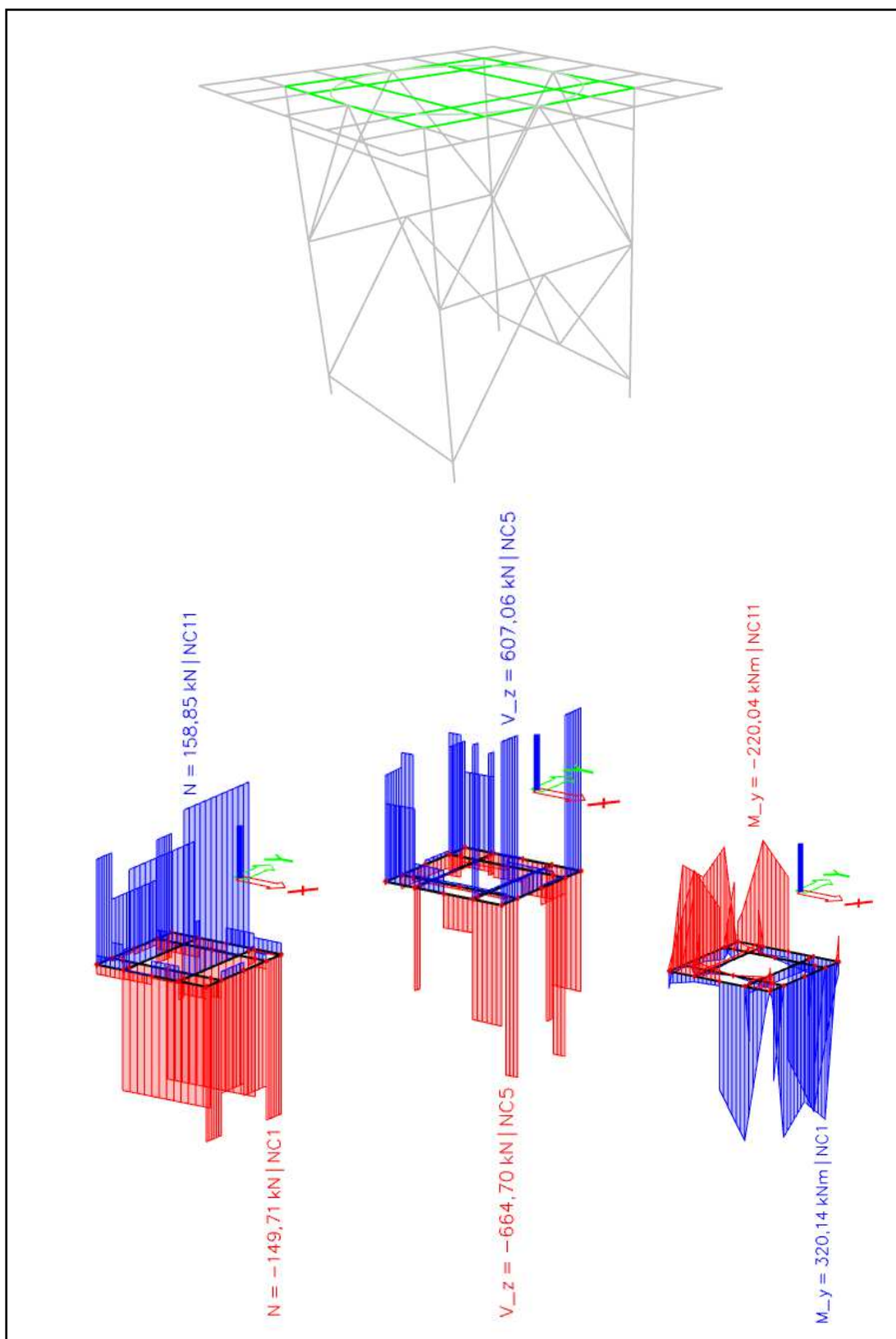
2.10.4 HEB 500 -spodní rošt

Tab. 37: Průřezové charakteristiky HEB 500

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$2,3860 \times 10^{-2}$	m^2	
I_y	$1,0720 \times 10^{-3}$	m^4	
I_z	$1,2620 \times 10^{-4}$	m^4	
W_{ply}	$4,8150 \times 10^{-3}$	m^3	
W_{plz}	$1,2920 \times 10^{-3}$	m^3	
I_t	$5,3840 \times 10^{-6}$	m^4	

Tab. 38: Vnitřní síly HEB 500

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$N_{Ed} +$	158,85 [kN]	NC11	-10°
$N_{Ed} -$	149,71 [kN]	NC1	-10°
$V_{Ed,y}$	-44,92 [kN]	NC1	-10°
$V_{Ed,z}$	-664,70 [kN]	NC5	-10°
$M_{Ed,y}$	320,14 [kN.m]	NC1	-10°
$M_{Ed,z}$	8,17 [kN.m]	NC1	-10°



Obr. 58: Vnitřní síly HEB 500 - spodní rošt

Zatřídění průřezu

Ohýbaná část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{500 - 2 \cdot 28 - 2 \cdot 27}{14,5} = 26,9 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

stojina

$$\frac{c}{t} = \frac{500 - 2 \cdot 28 - 2 \cdot 27}{14,5} = 26,9 < 38\varepsilon = 30,78 \Rightarrow \text{tř. průřezu 2}$$

pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{150 - 7,25 - 27}{28} = 4,13 < 9\varepsilon = 7,3 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Průřez je zařazen do třídy 2.

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,386 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 8470,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{158,85}{8470,3} = 0,02 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{4,815 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1709,33 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{320,14}{1709,33} = 0,19 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,292 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 458,66 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{8,17}{458,66} = 0,02 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 2,386 \cdot 10^4 - 2 \cdot 300 \cdot 28 + (14,5 + 2 \cdot 27) \cdot 28 \\ = 8,978 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8,978 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 1840,12 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{664,70}{1840,12} = 0,36 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = 1050 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1500 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka ani tlaková síla není příliš velká na to, aby rozhodl posudek stability na vzpěrnou únosnost.

Posouzení na kombinaci smyku, ohybu a osově síly

Smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti. Z tohoto důvodu je možné tento účinek na únosnost průřezu této kombinace zanedbat. Pro výpočet je nutno stanovit návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{158,85}{8470,30} = 0,02$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{23,86 \cdot 10^3 - 2 \cdot 300 \cdot 28}{23,86 \cdot 10^3} = 0,30$$

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n)}{(1 - 0,5 \cdot a)} = \frac{1709,33 \cdot (1 - 0,02)}{(1 - 0,5 \cdot 0,30)} = 1709,33 \text{ kN.m}$$

$$n < a \Rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^{\beta} = \left[\frac{320,14}{1709,33} \right]^2 + \left[\frac{8,17}{458,66} \right]^1 = 0,05 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku

$$C_{m,z} = 1,00$$

$$C_{m,y} = 1,00$$

$$C_{m,LT} = 1,00$$

$$k_{yy} = 1,00$$

$$k_{yz} = 0,69$$

$$k_{zz} = 1,00$$

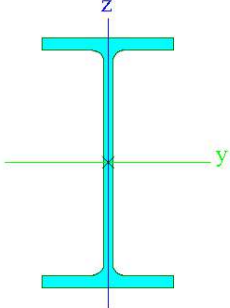
$$k_{zy} = 0,52$$

$$\begin{aligned} \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} = \\ = \frac{7,79}{\frac{1,00 \cdot 8470,30}{1,0}} + 1,00 \cdot \frac{1,96}{\frac{1,0 \cdot 1709,33}{1,0}} + 0,69 \cdot \frac{4,92}{\frac{458,66}{1,0}} = 0,01 < 1 \\ \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} = \\ = \frac{7,79}{\frac{1,00 \cdot 8470,30}{1,0}} + 0,52 \cdot \frac{1,96}{\frac{1,0 \cdot 1709,33}{1,0}} + 1,00 \cdot \frac{4,92}{\frac{458,66}{1,0}} = 0,01 < 1 \\ \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

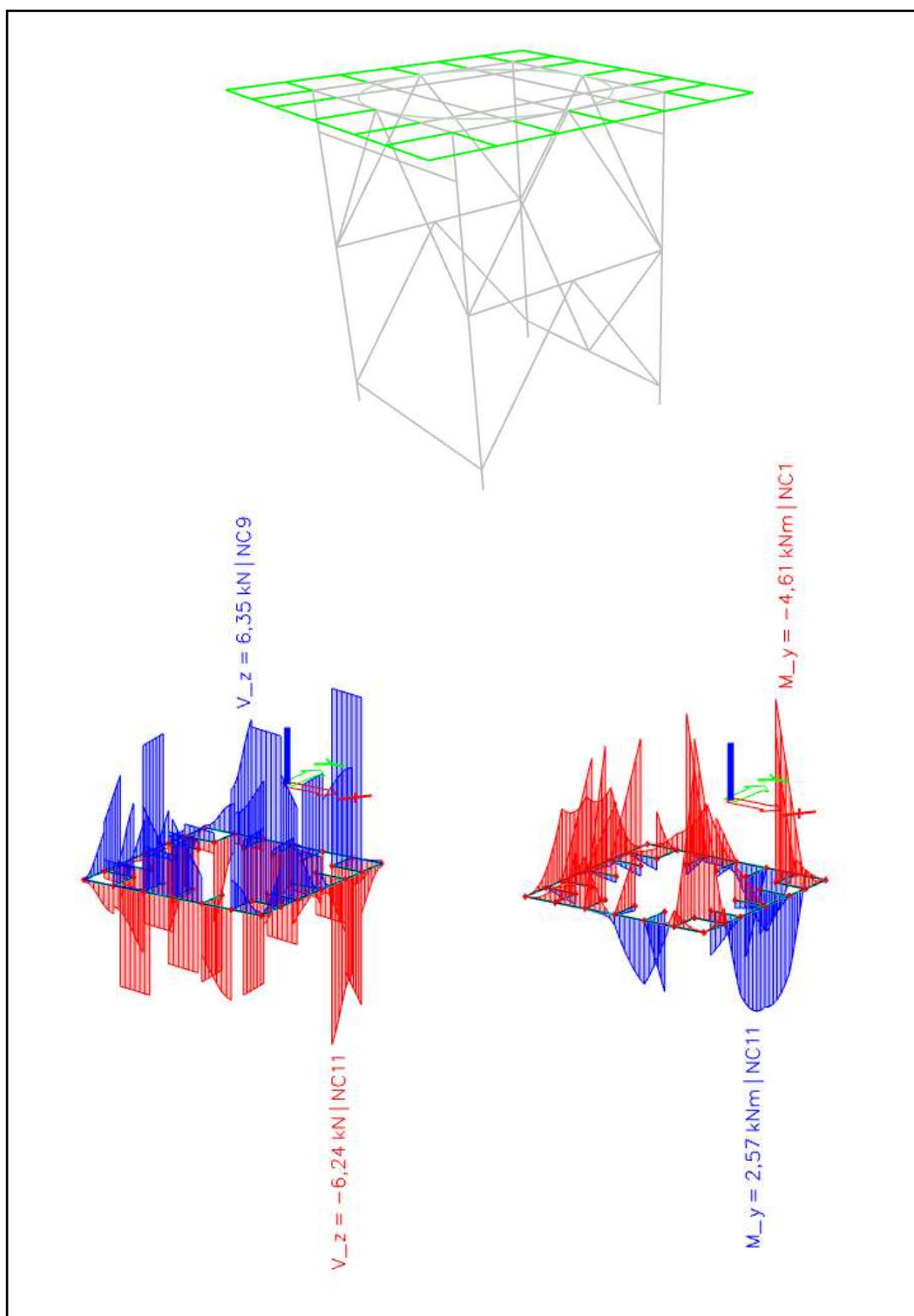
2.10.5 IPE 140

Tab. 39: Průřezové charakteristiky IPE 140

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$1,6400 \times 10^{-3}$	m^2	
I_y	$5,4100 \times 10^{-6}$	m^4	
I_z	$4,4900 \times 10^{-7}$	m^4	
W_{ply}	$8,8300 \times 10^{-5}$	m^3	
W_{plz}	$1,9300 \times 10^{-5}$	m^3	
I_t	$2,4500 \times 10^{-8}$	m^4	

Tab. 40: Vnitřní síly IPE 140

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
$V_{Ed,z}$	6,35 [kN]	NC9	-10°
$M_{Ed,y}$	-4,61 [kN]	NC1	-10°



Obr. 59: Vnitřní síly IPE 140

Posouzení na ohyb

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,83 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 31,35 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{4,61}{31,35} = 0,15 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk

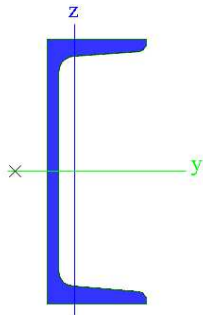
$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 1,64 \cdot 10^3 - 2 \cdot 73 \cdot 6,9 + (4,7 + 2 \cdot 7) \cdot 6,9 \\ = 0,761 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{0,761 \cdot 10^{-3} \cdot (235 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 103,25 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{6,35}{103,25} = 0,06 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

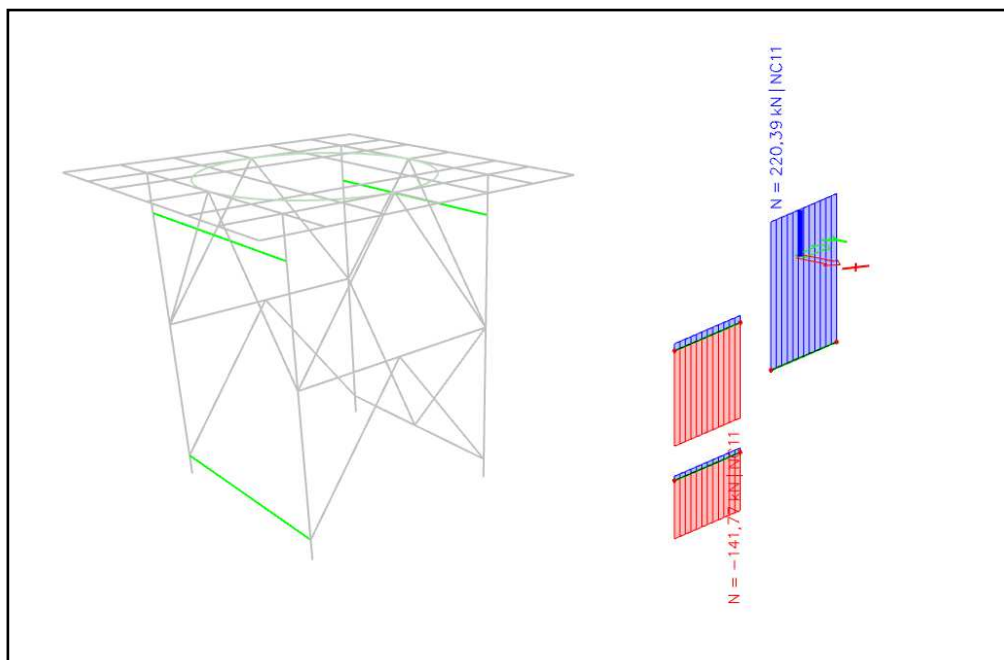
2.10.6 UNP 200

Tab. 41: Průřezové charakteristiky UNP 200

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	$2,7500 \times 10^{-3}$	m ²	
I _y	$5,8400 \times 10^{-6}$	m ⁴	
I _z	$1,5200 \times 10^{-6}$	m ⁴	
W _{ply}	$1,0906 \times 10^{-4}$	m ³	
W _{plz}	$5,5861 \times 10^{-5}$	m ³	
I _t	$1,3800 \times 10^{-7}$	m ⁴	

Tab. 42: Vnitřní síly UNP 200

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace	Pracovní pozice
N _{Ed} +	220,39 [kN]	NC11	-10°
N _{Ed} -	-141,77 [kN]	NC11	-10°



Obr. 60: Vnitřní síly UNP 200

Posouzení na tah

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00} = 646,25 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{220,39}{646,25} = 0,34 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3000 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,52 \cdot 10^{-6}}{3,0^2} = 1400,17 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1400,17}} = 0,84$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o válcovaný průřez s poměrem $h/b < 1,2$, uvažuje se křivka vzpěrnosti **b** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,84 - 0,2) + 0,84^2 \right] = 1,00$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,00 + \sqrt{1,00^2 - 0,84^2}} = 0,64$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,64 \cdot 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00} = 413,73 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{141,77}{413,73} = 0,34 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

2.11 Posouzení nosných prvků mostu zakladače – MSP

HEB 180

Svislý průhyb

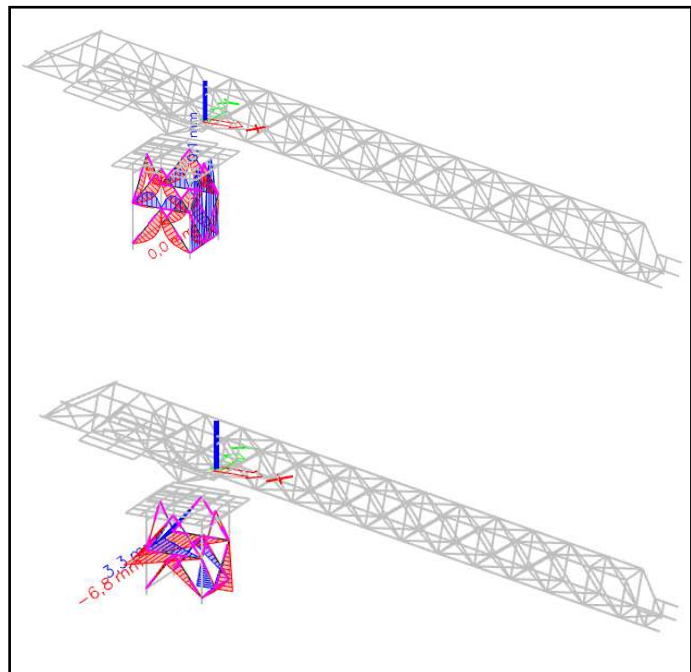
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2500}{250} = 10 \text{ mm}$$

$$\delta = \mathbf{0,1 \text{ mm}} < \delta_{max} = \mathbf{10 \text{ mm}}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{2500}{250} = 10 \text{ mm}$$

$$\delta = \mathbf{6,8 \text{ mm}} < \delta_{max} = \mathbf{10 \text{ mm}}$$



Obr. 61: HEB 180 průhyby

HEB 300

Svislý průhyb z

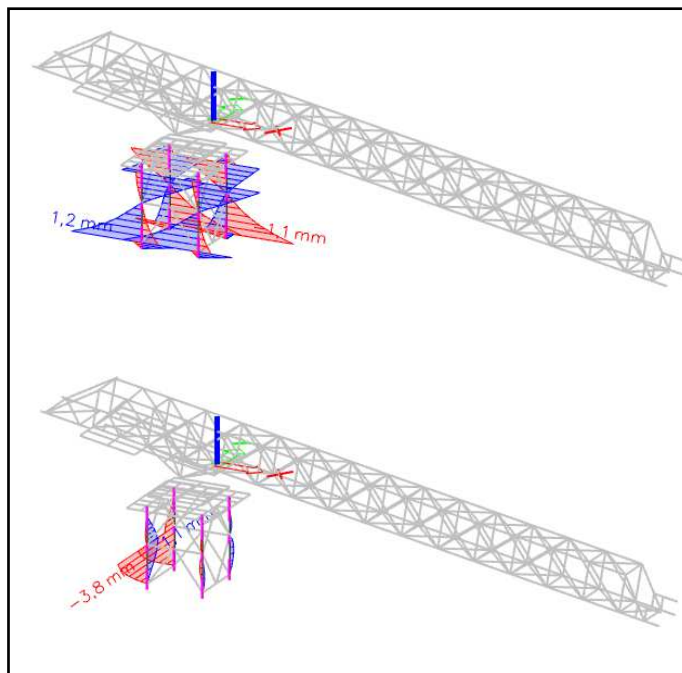
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{4300}{250} = 17,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,2 \text{ mm} < \delta_{max} = 17,2 \text{ mm}$$

Svislý průhyb y

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{4300}{250} = 17,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 3,8 \text{ mm} < \delta_{max} = 17,2 \text{ mm}$$



Obr. 62: HEB 300 průhyby

HEB 500 – horní rošt

Svislý průhyb

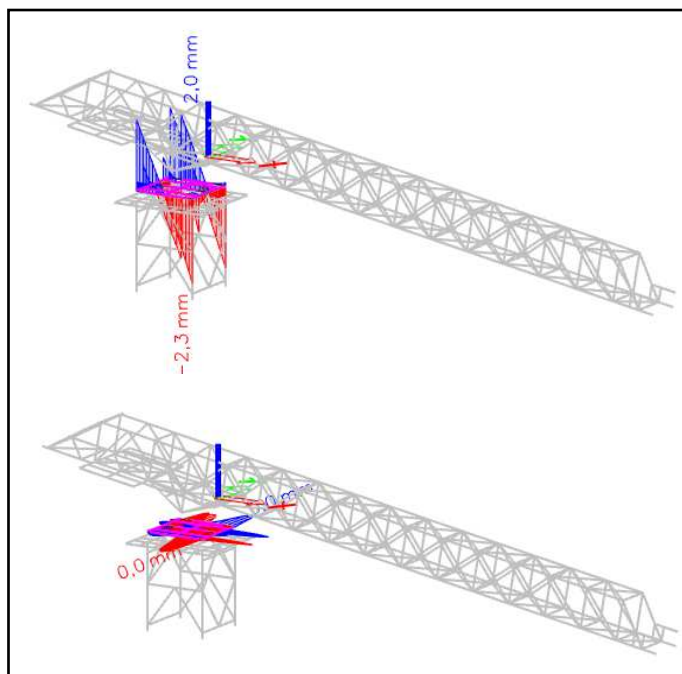
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1500}{250} = 6 \text{ mm}$$

$$\delta = 2,3 \text{ mm} < \delta_{max} = 6 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{150}{250} = 6 \text{ mm}$$

$$\delta = 0 \text{ mm} < \delta_{max} = 6 \text{ mm}$$



Obr. 63: HEB 500 průhyby

HEB 500 – spodní rošt

Svislý průhyb

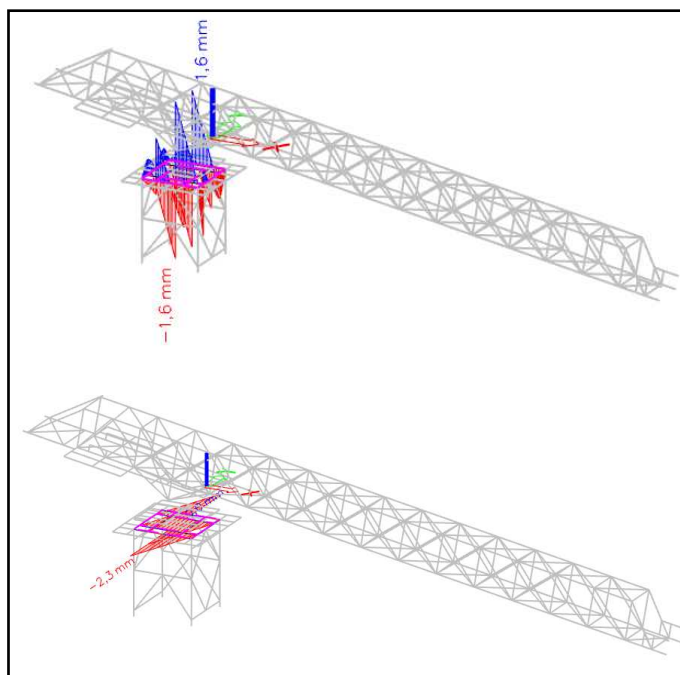
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1500}{250} = 6 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,6 \text{ mm} < \delta_{max} = 6 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{1500}{250} = 6 \text{ mm}$$

$$\delta = 2,3 \text{ mm} < \delta_{max} = 6 \text{ mm}$$



Obr. 64: HEB 500 průhyby

IPE 140

Svislý průhyb

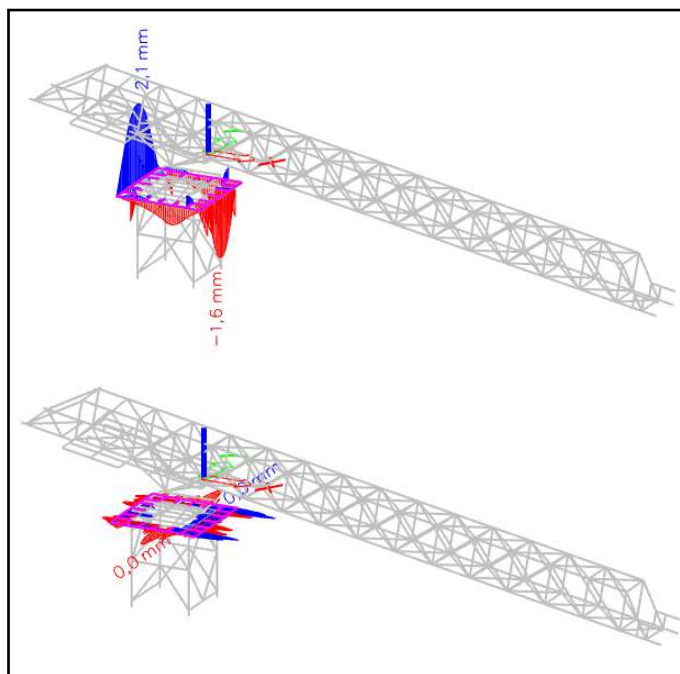
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{4500}{250} = 18 \text{ mm}$$

$$\delta = 2,1 \text{ mm} < \delta_{max} = 18 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{750}{250} = 3 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,0 \text{ mm} < \delta_{max} = 3 \text{ mm}$$



Obr. 65: IPE 140 průhyby

UNP 200

Svislý průhyb

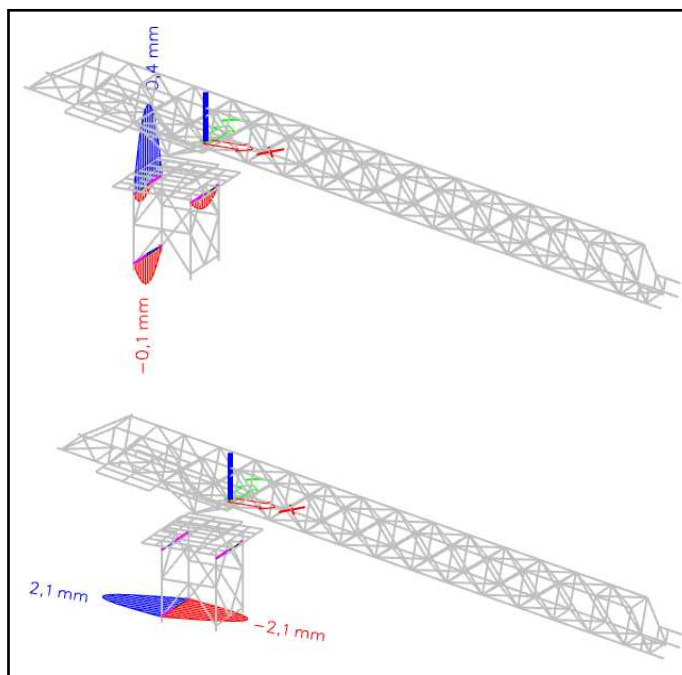
$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{3000}{250} = 12 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,4 \text{ mm} < \delta_{max} = 12 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{3000}{250} = 12 \text{ mm}$$

$$\delta = 2,1 \text{ mm} < \delta_{max} = 12 \text{ mm}$$



Obr. 66: UNP 200 průhyby

2.12 Využití průřezů mezních stavů

Tab. 43: Využití průřezu MSÚ

Využití průřezu v mezním stavu únosnosti		
Průřez	Využití	Rozhodující posudek
HEB 180	30%	Vzpěrná únosnost
HEB 300	41%	Komb. ohyb a tlak
HEB 500 – horní	51%	Smyk
HEB 500 - spodní	36%	Smyk
IPE 140	15%	Ohyb
UNP 200	34%	Vzpěrná únosnost

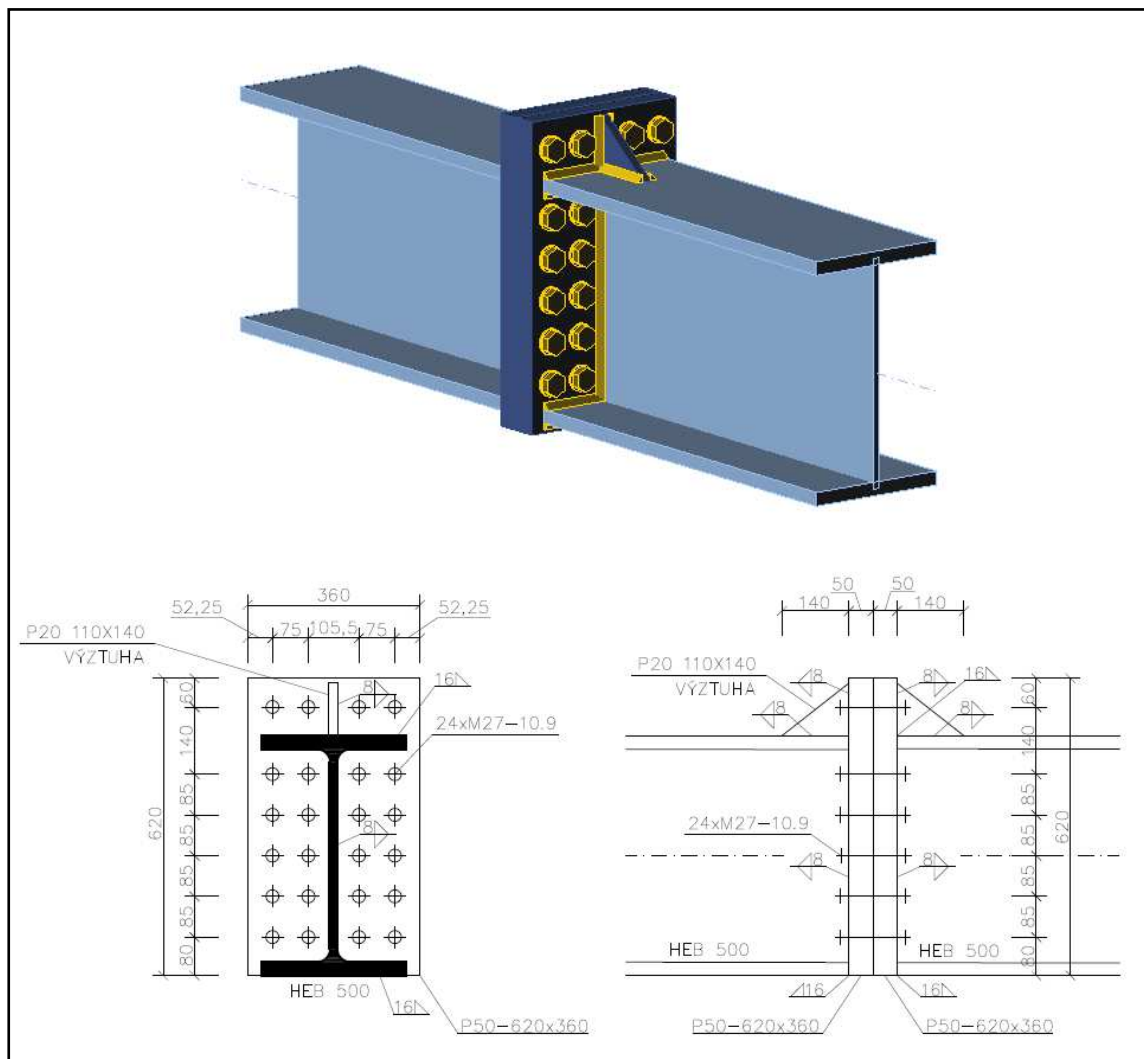
Tab. 44: Využití průřezu MSP

Využití průřezu v mezním stavu použitelnosti	
Průřez	Využití
HEB 180	68%
HEB 300	22%
HEB 500 - horní	38%
HEB 500 - spodní	38%
IPE 140	11%
UNP 200	18%

2.13 Posouzení vybraných detailů věže zakladače

2.13.1 Montážní spoj roštu HEB 500

Montážní spoj je proveden ve čtvrtině pole roštu. Jelikož je spoj převážně tlačný je použit spoj na čelní desku (Obr.67).



Obr. 67: Montážní spoj HEB 500

Návrhové síly

$$N_{Ed}^{+} = 230,15 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{-} = 1616,13 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 52,63 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -708,53 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -326,56 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = 24,73 \text{ kN.m}$$

Návrh svaru stojiny a čelní desky

Účinná tloušťka svaru je navržena konzervativně na plnou únosnost.

$$a > 0,55 \cdot t_w = 0,55 \cdot 14,5 = 7,9 \text{ mm}$$

$$a = 8 \text{ mm}$$

Návrh svaru pásnice a čelní desky

Účinná tloušťka svaru je navržena konzervativně na plnou únosnost.

$$a > 0,55 \cdot t_f = 0,55 \cdot 28 = 15,4 \text{ mm}$$

$$a = 16 \text{ mm}$$

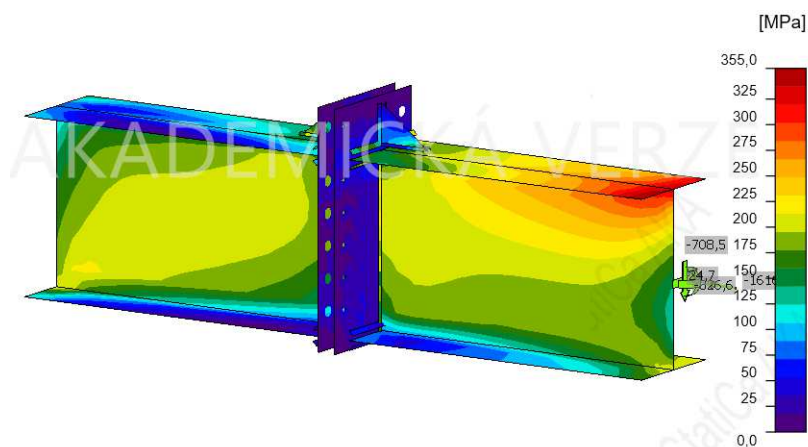
Únosnost šroubu v tahu

$$F_{T,1,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 459 \cdot 1000 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 330,48 \text{ kN}$$

Vliv páčení

$$t_e = 4,3 \cdot \left(\frac{b \cdot d^2}{a} \right)^{\frac{1}{3}} = 4,3 \cdot \left(\frac{45 \cdot 50^2}{80} \right)^{\frac{1}{3}} = 48,18 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

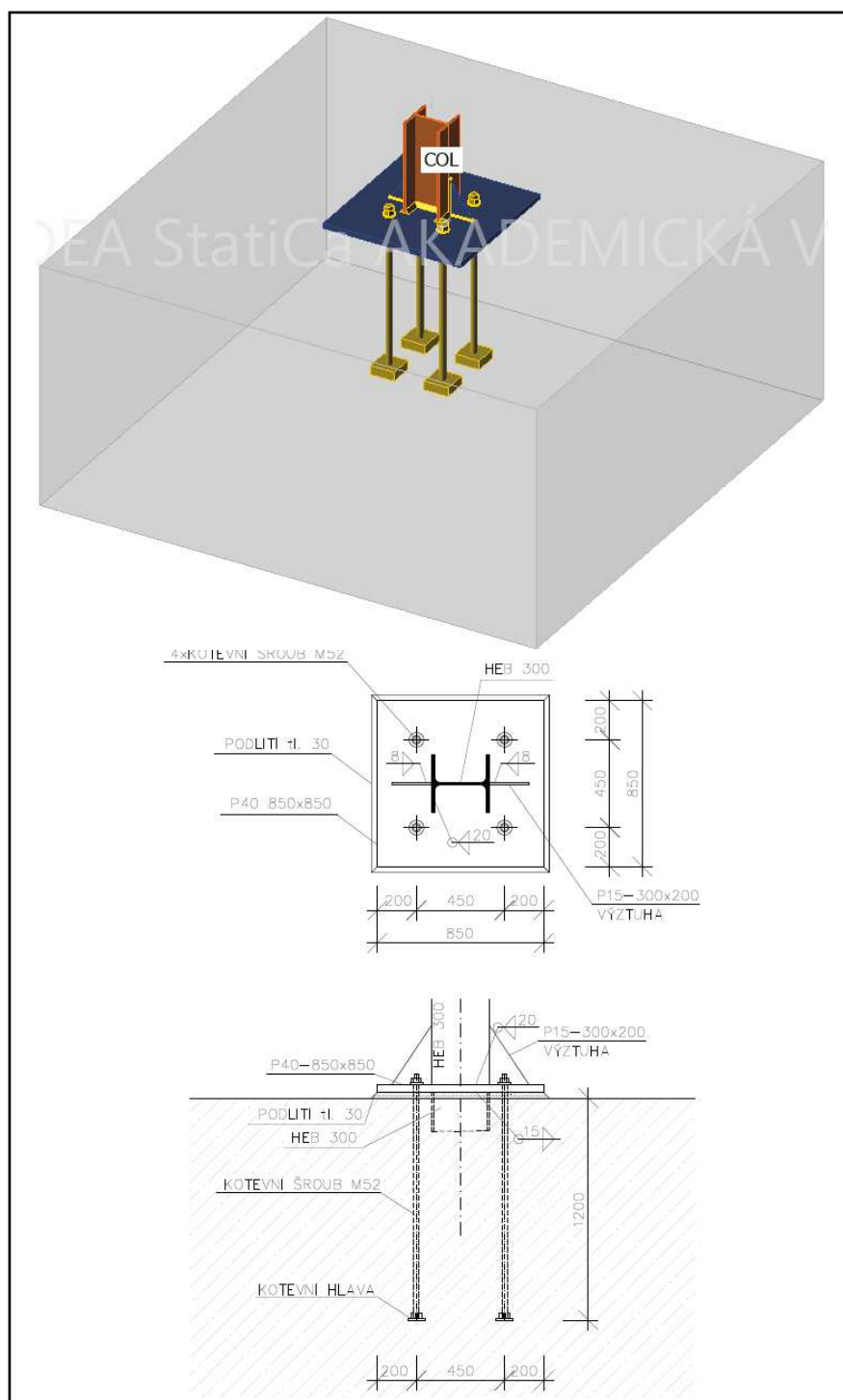
Nedochází k páčení šroubů



Obr. 68: Napětí montážního spoje HEB 500

Spoj je posouzen v programu Idea StatiCa. Výpis protokolu je k nahlédnutí v přílohách.

2.13.2 Kotvení sloupu HEB 300



Obr. 69: Detail kotvení sloupu HEB 300

2.13.2.1 Patní deska

$$N_{Ed} = 1488,76 \text{ kN} - (\text{komb. NC9})$$

Patní plech:

$$a = 850 \text{ mm}$$

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

Betonová patka:

$$a = 1500 \text{ mm}$$

$$b = 1500 \text{ mm}$$

$$h = 2000 \text{ mm}$$

$$a_1 = \min \{a + 2 \cdot a_r; 5a; a + h; 5b_1\} = \{850 + 2 \cdot 325; 5 \cdot 850; 850 + 2000; 5 \cdot 850\} = 1500 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min \{b + 2 \cdot b_r; 5b; b + h; 5a_1\} = \{850 + 2 \cdot 325; 5 \cdot 850; 850 + 2000; 5 \cdot 850\} = 1500 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot 1500}{850 \cdot 850}} = 1,76$$

$$f_{j,d} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = 0,67 \cdot 1,76 \cdot \frac{20}{1,5} = 15,76 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 40 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 15,76 \cdot 1,0}} = 109,61 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 17,48 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$N_{Rd,betonu} = A_{eff} \cdot f_{j,d} = 17,48 \cdot 10^{-2} \cdot 15,76 \cdot 10^3 = 2754,85 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,oceli} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 40 \cdot 850 \cdot \frac{355 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 12070,00 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \min \{N_{Rd,betonu}; N_{Rd,oceli}\} = \min \{2754,85; 12070,00\} = 2754,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{1488,76}{2754,85} = 0,54 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

2.13.2.2 Kotvení šroubů

$$N_{Ed} = 1047,87 \text{ kN} - (\text{komb. NC10})$$

Kotevní šrouby: **4 x M52 10.9**

$$d = 52 \text{ mm}$$

$$A_s = 2124 \text{ mm}^2$$

$$L = 1200 \text{ mm}$$

Únosnost v tahu

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{1047,87}{4} = 261,97 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 0,8 \cdot R_d \cdot A_s = 0,8 \cdot 1000 \cdot 2124 \cdot 10^{-3} = 1699,20 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{261,97}{1699,20} = 0,73 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Únosnost vytržení betonu u kotvy v tahu

$$N_{Rk,c}^0 = 1820,6 \text{ kN} - \text{únosnost kotvy}$$

$$A_{c,N} = 4,306 \text{ m}^2 - \text{plocha betonového kužele}$$

$$A_{c,N}^0 = 12,96 \text{ m}^2 - \text{plocha betonu jednotlivé kotvy s velkou roztečí}$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} = 1820,6 \cdot \frac{4,306}{12,96} = 604,90 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}^0}{\gamma_c \cdot \gamma_{inst}} = \frac{604,9}{1,5 \cdot 1,2} = 336,06 \text{ kN}$$

Únosnost na vytržení

$A_h = 0,038 \text{ m}^2$ – roznášecí plocha

$$N_{Rd,p} = \frac{k_2 \cdot A_h \cdot f_{ck}}{\gamma_{Mc}} = \frac{7,5 \cdot 0,038 \cdot 30 \cdot 10^3}{1,8} = 4375,00 \text{ kN}$$

Únosnost v protlačení

d_m – vzdálenost hran ke šroubu

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 0,085 \cdot 0,04 \cdot 480 \cdot 10^3}{1,8} = 2409,73 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(N_{Rd,c}; N_{Rd,p}; B_{p,Rd})} = \frac{261,97}{336,06} = 0,78 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

2.13.2.3 Smyková zarážka

$R_x = 194,11 \text{ kN}$ – (komb. NC10)

$R_y = 225,26 \text{ kN}$ – (komb. NC3)

Byla navržena smyková zarážka HEB 300.

$$W_x = 1868 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_y = 870,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$l = 200 \text{ mm}$ (délka zarážky v betonu)

Posouzení betonu v otláčení

$$F_{c,Ed,max} = \frac{R_y}{l \cdot b} = \frac{225,26 \cdot 10^3}{300 \cdot 200} = 3,75 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_{c,Ed,max}}{f_{cd}} = \frac{3,75}{\frac{20}{1,5}} = 0,28 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení zarážky ve smyku

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4,743 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 972,12 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{225,26}{972,12} = 0,23 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení zarážky v ohybu

$$M_x = R_x \cdot l = 194,11 \cdot 0,2 = 38,82 \text{ kN.m}$$

$$M_y = R_y \cdot l = 225,26 \cdot 0,2 = 45,05 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_{Ed,x} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{38,82 \cdot 10^6}{1868 \cdot 10^3} = 20,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed,y} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{45,05 \cdot 10^6}{870,1 \cdot 10^3} = 51,78 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Ed,x} + \sigma_{Ed,y}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{20,78 + 51,78}{\frac{355}{1,00}} = 0,20 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Vliv páčení

1. Způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 456,65 \cdot 40^2 \cdot 355 / 1,0 = \\ = 66,12 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 66,12 \cdot 10^6}{85} = 3112,53 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 456,65 \cdot 40^2 \cdot 355 / 1,0 = \\ = 66,12 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 66,12 \cdot 10^6 + 85 \cdot 849,6}{85 + 200} = 464,25 kN$$

3. Způsob porušení

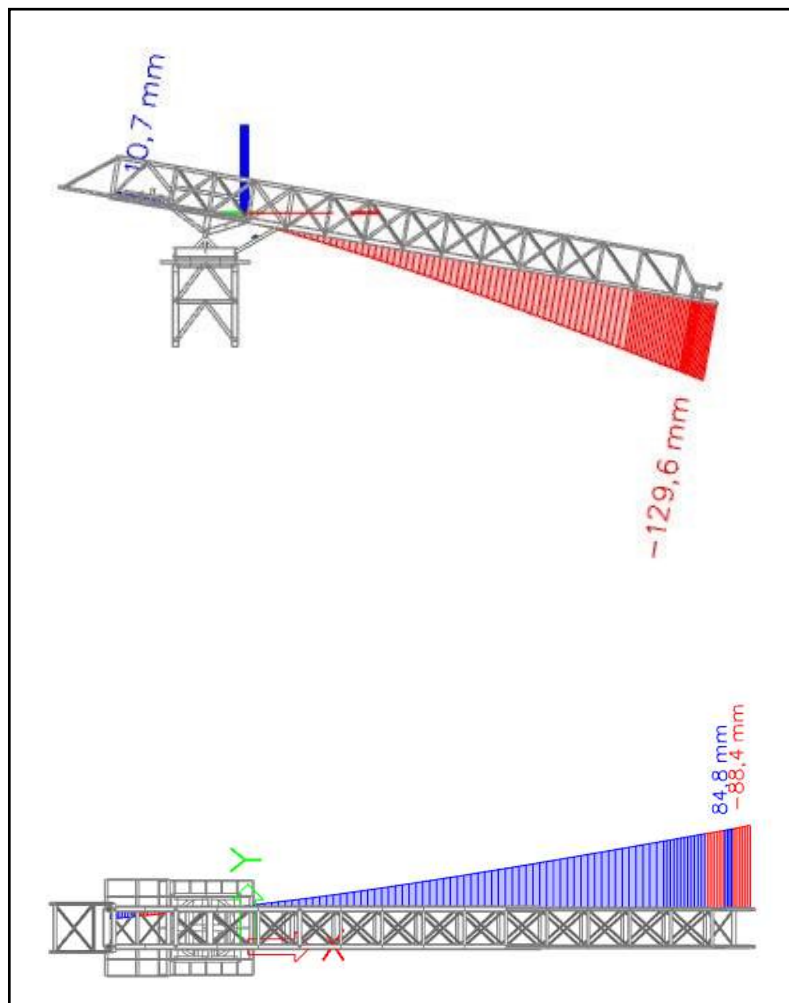
$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 849,6 kN$$

Rozhoduje 2. způsob porušení

$$F_{T,Rd} = 464,25 kN > F_{T,Ed} = 261,97 kN \Rightarrow VYHOVÍ$$

Spoj je posouzen v programu Idea StatiCa. Výpis protokolu je k nahlédnutí v příloze D. Návrh a posudek výztuže patky není předmětem diplomové práce.

2.14 Mezní stav použitelnosti celé konstrukce



Obr. 70: Celkové průhyby nosné konstrukce

Vodorovný průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{34000}{250} = 136 \text{ mm}$$

$$\delta = 84,8 \text{ mm} < \delta_{max} = 136 \text{ mm}$$

Svislý průhyb

$$\delta_{max} = \frac{l}{250} = \frac{34000}{250} = 136 \text{ mm}$$

$$\delta = 129,6 \text{ mm} < \delta_{max} = 136 \text{ mm}$$

3 Závěr

Obsahem diplomové práce byl návrh ocelové konstrukce mostu zakladače kameniva vytěženého při ražbě tunelu v Brennerském průsmyku. Při návrhu byly respektovány základní požadavky investora na geometrické uspořádání konstrukce. Byly dodržovány požadavky zadavatele, týkající se zatížení technologických či klimatických. Součástí diplomové práce je technická zpráva, výkaz materiálu, výstupy z výpočetních programů a výkresová dokumentace.

V úvodu se práce zabývala popisem konstrukce a jejích konstrukčním prvkům a stanovením třídy provedení. Poté byly vypočteny všechny stálá a proměnná zatížení, která na konstrukci působí. Dále byly posouzeny hlavní nosné prvky konstrukce, navrhnutý a posouzeny hlavní spoje nosných prvků. K těmto úkonům byla vytvořena výkresová dokumentace, která zahrnuje půdorysy, pohled, řez a detaily spojů. Podle dosažených výsledků lze stanovit, že konstrukce zakladače kameniva vyhovuje na mezní stavy únosnosti a mezní stavy použitelnosti.

Přínosem zpracování tématu této diplomové práce je pro autora prohloubení znalostí o zatížení stavebních konstrukcí, výpočtu zatížení od větru a navrhování ocelových prvků a jejich spojů řešených v softwaru Idea StatiCa. Autor získal větší sebejistotu v modelování prostorových konstrukcí a numericky nelineárních modelů v programu Scia Engineer. Dále byly rozšířeny znalosti 3D BIM modelování v programu Tekla Structures a následných vizualizačních úpravách.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi jakkoli pomohli a podporovali mě při tvorbě mé diplomové práce. Děkuji vedoucímu mé práce doc. Ing. Vítu Křivému, Ph.D. za cenné rady, odbornou pomoc a připomínky k řešení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Davidu Mikoláškov, Ph.D. za pomoc při tvorbě výpočetního modelu.

4 Seznam použitých pramenů

4.1 Literatura

- [1] MAREK, Pavel a kol. *Kovové konstrukce pozemních staveb*, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [2] STUDŇIČKA, Jiří. *Navrhování nosných konstrukcí – ocelové konstrukce*, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2015. ISBN 978-80-01-05490-1.
- [3] Podklady poskytnuté společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o.

4.2 Normy

- [4] ČSN EN 1990 ed.2 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. ÚNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [5] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení*. Praha, ČNI, 2004.
- [6] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem*. Praha, ČNI, 2004.
- [7] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem*. Praha, ČNI, 2007.
- [8] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha, ÚNMZ, 2011.
- [9] ČSN EN 1993-1-5 *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn*, Praha, ČNI, 2008.
- [10] ČSN EN 1993-1-8 *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: ČNI, 2007.

- [11] ČSN EN 1998-1-1 ed. 2. Eurokód 8: *Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby*. ÚNMZ, 2013.
- [12] EN 1990-1-1: *Basis of structural design*
- [13] EN 1090-2: *Execution of steel structures and aluminium structures. Technical requirements for steel structures*
- [14] ÖNORM B 1991-1-3 Eurocode 1: *Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten*
- [15] ÖNORM B 1991-1-4 Eurocode 1: *Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*

4.3 Internetové zdroje

- [16] *Außenanlagen & Stadtmöbel vom Profi* [online] dostupné z <https://www.ziegler-metall.at/schneelastkarte>
- [17] *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik - ZAMG* [online] dostupné z <https://www.zamg.ac.at>

5 Použitý programový software

Scia Engineer	Výpočetní software pro statické výpočty (verze 19.0)
Idea StatiCa 10	Výpočetní software pro statické modelování styčníků
AutoCAD 2019	Grafický software pro tvorbu projektové dokumentace
Tekla Structures	Software sloužící k BIM projektování
MS Excel 2019	Tabulkový procesor
MS Word 2019	Textový editor

6 Seznam obrázků a tabulek

6.1 Seznam obrázků

Obr. 1: Pracovní pozice mostu [3]	12
Obr. 2: Horizontální poloha zakladače kameniva [3]	13
Obr. 3: Prutový model mostu zakladače ze Scia Engineer	18
Obr. 4: Barevné znázornění použitých průřezů	18
Obr. 5: Tuhé pruty.....	19
Obr. 6: Klouby v konstrukci	20
Obr. 7: Zatížení pororoštem	22
Obr. 8: Zatížení krycí mřížkou.....	23
Obr. 9: Zatížení podlahovým plechem.....	23
Obr. 10: Technologické zatížení_1	24
Obr. 11: Zatížení násypkou.....	25
Obr. 12: Technologické zatížení_2	25
Obr. 13: Zatížení betonovými panely	26
Obr. 14: Zatížení materiálem	26
Obr. 15: Užité zatížení - osoby	27
Obr. 16: Síly od řemene	27
Obr. 17: Sněhová mapa [16]	28
Obr. 18: Zatížení sněhem	29
Obr. 19: Vítr působící na typickou příhradu	31
Obr. 20: Vítr působící na příhradu pokrytou mřížovinou	31
Obr. 21: Vítr působící na násypku	32
Obr. 22: Vítr působící na betonové panely	32
Obr. 23: Vítr působící na chodníkové nosníky	33
Obr. 24: Vítr působící na typickou příhradu směr Z.....	34
Obr. 25: Vítr působící na chodník a panely ve směru Z	34
Obr. 26: Vítr působící ve směru X.....	35
Obr. 27: Seizmická mapa [17]	36
Obr. 28: Vnitřní síly HEA120.....	40

Obr. 29: Vnitřní síly HEA 140.....	43
Obr. 30: Vnitřní síly HEB 180	48
Obr. 31: Vnitřní síly HEB 280	53
Obr. 32: Vnitřní síly IPE120	58
Obr. 33: Vnitřní síly L80x8.....	62
Obr. 34: Vnitřní síly L100x10.....	65
Obr. 35: Vnitřní síly L120x12.....	67
Obr. 36: HEA 120 průhyby	69
Obr. 37: HEA 140 průhyby	70
Obr. 38: HEB 180 průhyby	70
Obr. 39: HEB 280 průhyby	71
Obr. 40: IPE 120 průhyby	71
Obr. 41: L 80x8 průhyby.....	72
Obr. 42: L 100x10 průhyby.....	72
Obr. 43: L 120x12 průhyby.....	73
Obr. 44: Normálová síla v montážním spoji HEB 280	74
Obr. 45: Šroubovaný montážní spoj podélného nosníku HEB 280	75
Obr. 46: Napětí v montážním spoji HEB 280	77
Obr. 47: Vnitřní síly v montážním spoji HEB 180	78
Obr. 48: Šroubovaný montážní spoj podélného nosníku HEB 180	78
Obr. 49: Napětí v montážním spoji HEB 180	80
Obr. 50: Spoj plošiny HEA 140 k podélníku HEB 280	81
Obr. 51: Napětí ve spoji plošiny HEA 140 s podélníkem HEB 280.....	83
Obr. 52: Spoj klasického styčnicku mostu zakladače	84
Obr. 53: Napětí v klasickém styčnicku mostu zakladače	85
Obr. 54: Čepový spoj	86
Obr. 55: Vnitřní síly HEB 180	88
Obr. 56: Vnitřní síly HEB 300	91
Obr. 57: Vnitřní síly HEB 500 – horní rošt.....	96
Obr. 58: Vnitřní síly HEB 500 - spodní rošt	102
Obr. 59: Vnitřní síly IPE 140	107
Obr. 60: Vnitřní síly UNP 200	109
Obr. 61: HEB 180 průhyby	110

Obr. 62: HEB 300 průhyby	111
Obr. 63: HEB 500 průhyby	111
Obr. 64: HEB 500 průhyby	112
Obr. 65: IPE 140 průhyby	112
Obr. 66: UNP 200 průhyby	113
Obr. 67: Montážní spoj HEB 500	115
Obr. 68: Napětí montážního spoje HEB 500	116
Obr. 69: Detail kotvení sloupu HEB 300	117
Obr. 70: Celkové průhyby nosné konstrukce	123

6.2 Seznam tabulek

Tab. 1: Třídy následků [12]	13
Tab. 2: Výrobní kategorie [13]	14
Tab. 3: Kategorie použitelnosti [13]	14
Tab. 4: Třídy provedení [13]	14
Tab. 5: Charakteristiky materiálu ocel S235	15
Tab. 6: Charakteristiky materiálu ocel S355	16
Tab. 7: Charakteristiky materiálu ocel 10.9	16
Tab. 8: Použití průřezů v konstrukci	19
Tab. 9: Zatěžovací stavy	21
Tab. 10: Skupiny zatížení	21
Tab. 11: Výpočetní hodnoty pro zatížení sněhem	29
Tab. 12: Klíč kombinací	38
Tab. 13: Průřezové charakteristiky HEA 120	39
Tab. 14: Vnitřní síly HEA 120	39
Tab. 15: Průřezové charakteristiky HEA140	42
Tab. 16: Vnitřní síly HEA 140	42
Tab. 17: Průřezové charakteristiky HEB 180	47
Tab. 18: Vnitřní síly HEB 180	48
Tab. 19: Průřezové charakteristiky HEB 280	52
Tab. 20: Vnitřní síly HEB 280	52
Tab. 21: Průřezové charakteristiky IPE120	57

Tab. 22: Vnitřní síly IPE 120	57
Tab. 23: Průřezové charakteristiky L80x8	61
Tab. 24: Vnitřní síly L80x8	61
Tab. 25: Průřezové charakteristiky L100x10	64
Tab. 26: Vnitřní síly L100x10	64
Tab. 27: Průřezové charakteristiky L120x12	67
Tab. 28: Vnitřní síly 120x12	67
Tab. 29: Využití průřezu MSÚ	73
Tab. 30: Využití průřezu MSP	74
Tab. 31: Průřezové charakteristiky HEB 180	88
Tab. 32: Vnitřní síly HEB 180	88
Tab. 33: Průřezové charakteristiky HEB 300	90
Tab. 34: Vnitřní síly HEB 300	90
Tab. 35: Průřezové charakteristiky HEB 500	95
Tab. 36: Vnitřní síly HEB 500	95
Tab. 37: Průřezové charakteristiky HEB 500	101
Tab. 38: Vnitřní síly HEB 500	101
Tab. 39: Průřezové charakteristiky IPE 140	106
Tab. 40: Vnitřní síly IPE 140	106
Tab. 41: Průřezové charakteristiky UNP 200	108
Tab. 42: Vnitřní síly UNP 200	108
Tab. 43: Využití průřezu MSÚ	113
Tab. 44: Využití průřezu MSP	114

7 Seznam příloh

Příloha A: Technická zpráva

Příloha B: Výkaz materiálu

Příloha C: Statický posudek nosných prvků z programu Scia Engineer

Příloha D: Statický posudek vybraných styčníků z programu Idea StatiCa

Příloha E: Výkresová dokumentace

E1: Pohled, půdorysy a řezy mostu zakladače	1:50, A1
E2: Pohledy a půdorysy věže zakladače	1:50, A2
E3: Pracovní polohy zakladače	1:100, A1
E4: Detail čepového spoje a kotvení sloupu	1:20, A3
E5: Ostatní detaily	1:10, A3